



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad Zaragoza**



ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA DE ZARAGOZA

**Universidad de Zaragoza**

Proyecto Fin de Carrera

***ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL  
CEMENTO AL COMBINADO CON  
DIFERENTES ADITIVOS PARA LA  
FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN.***

Sergio García Casado  
Septiembre 2011

Dirigido por M<sup>a</sup> Ángeles Pérez Ansón (E.I.N.A.),  
y José Miguel Fuertes (M.L.N.)  
Ingeniería Técnica Industrial Mecánica



## **Agradecimientos.**

Es el momento de expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que, tanto de una manera directa como indirecta han hecho posible la realización de este proyecto.

En primer lugar, quiero agradecer a la empresa Mariano López Navarro, la colaboración prestada a través de la cátedra que mantiene con la Universidad, por la oportunidad de poder realizar el proyecto fin de carrera en sus laboratorios. En especial a Alberto Sanclemente y José Miguel Fuertes, por el buen trato recibido, por la colaboración prestada y por la experiencia laboral que nos han transmitido.

De la misma manera, quiero agradecer especialmente la actitud y la ayuda recibida en todo momento para el desarrollo del proyecto, a M<sup>a</sup> Ángeles Pérez Ansón, directora del mismo, y una persona clave que, gracias a su conocimiento y atención este proyecto ha sido posible.

Agradecer la ayuda recibida y el buen ambiente de trabajo creado por parte de Álvaro Arnal Maza, amigo y compañero de proyecto.

Por último, y no menos importante, el agradecimiento a las personas que me rodean, compañeros de universidad, amigos y especialmente a mis padres y hermano por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.



## **Resumen del proyecto.**

El hormigón es el material más importante en la construcción, es el resultante de unir áridos con la mezcla de agua y un conglomerante, en éste caso cemento. Éste, confiere al hormigón su fraguado y endurecimiento. El cemento se hidrata en contacto con el agua y así se inician las reacciones químicas, que lo convierten en maleable y con buenas propiedades adherentes, aunque con el paso del tiempo, desemboca en una aceleración del fraguado, perdiendo las características deseadas.

Para poder modificar algunas de las propiedades del hormigón, se usarán aditivos químicos que, dependiendo de su dosificación, hacen que mejoren o empeoren sus propiedades.

En el presente proyecto se va a realizar un estudio de cómo una dupla de aditivos comerciales (un aditivo superplastificante y otro polifuncional), influyen sobre cemento normal (AI), para la fabricación de hormigón, buscando la dosificación que cumpla las necesidades buscadas, como son un cono de Abrams entre 6 y 9 cm, una buena trabajabilidad y una resistencia superior a 25 MPa.

Principalmente, con estos aditivos se ha logrado conseguir los propósitos iniciales, obteniendo una buena trabajabilidad y homogeneidad, un cono entre los valores permitidos, junto con una resistencia dentro de los parámetros establecidos. A destacar también la coherencia entre los conos obtenidos y la relación agua-cemento, es algo muy importante y a tener muy en cuenta, pues es un requisito exigido para el hormigón que se intenta fabricar.



## **ÍNDICE**

### **CAPITULO 1 MOTIVACION Y OBJETIVO**.....-11-

1.1 Introducción.....	-13-
1.2 Objetivo.....	-13-
1.3 Descripción del Proyecto.....	-14-

### **CAPITULO 2 TIPOS DE CEMENTO**.....-15-

2.1 Definición.....	-17-
2.2 Clasificación del cemento según la norma UNE.....	-17-
2.3 Tipos de cemento.....	-18-
2.4 Principales componentes de cemento.....	-20-
2.4.1 Clinker de cemento.....	-20-
2.4.2 Componentes adicionales que acompañan al clinker.....	-20-
2.5 Selección del cemento.....	-23-
2.5.1 Elección del cemento para la realización del proyecto.....	-24-

### **CAPITULO 3 ADITIVOS DEL HORMIGON**.....-25-

3.1. Introducción.....	-27-
3.2. Clasificación.....	-28-
3.2.1. Norma Técnica ASTM C494/C260/1017.....	-28-
3.2.2. Centro Tecnológico del hormigón (C.T.H.).....	-28-
3.2.3. Instrucción de hormigón estructural (EHE 08).....	-29-
3.2.4. Norma AFNOR P 18-123.....	-29-
3.3. Aditivos más habituales.....	-30-
3.4. Aditivos reductores de agua.....	-34-
3.4.1 Plastificantes.....	-35-
3.4.1.1 Introducción.....	-35-
3.4.1.2 Característias.....	-35-
3.4.1.3 Limitaciones.....	-35-
3.4.2 Superplastificantes.....	-36-
3.4.3 Polifuncionales.....	-39-
3.4.3.1 Introducción.....	-39-
3.4.3.2 Características.....	-39-
3.4.3.3 Limitaciones.....	-39-

<b><u>CAPITULO 4 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS</u></b>	-41-
4.1 Introducción.....	-43-
4.2 Materiales utilizados.....	-43-
4.2.1 Cemento.....	-43-
4.2.2 Áridos.....	-44-
4.2.3 Agua.....	-44-
4.3 Equipo utilizado.....	-45-
4.3.1 Báscula de precisión.....	-45-
4.3.2. Hormigonera.....	-45-
4.3.3. Cono de Abrams.....	-47-
4.3.4. Probetas.....	-47-
4.3.5. Cámara húmeda.....	-48-
4.3.6 Termometro de tontacto.....	-48-
4.3.7. Calentador de azufre y soporte para refrentar.....	-49-
4.3.8. Máquina de ensayo a compresión.....	-50-
4.3.9 Horno.....	-51-
<b><u>CAPITULO 5 ENSAYOS Y RESULTADOS</u></b>	-53-
5.1. Ensayo granulométrico.....	-55-
5.1.1 Caracterización del árido.....	-55-
5.1.2 Determinación de la granulometría del árido.....	-56-
5.2 Ensayo del hormigón fresco.....	-58-
5.2.1 Ensayo de consistencia del hormigón. Cono de Abrams.....	-59-
5.3 Ensayo en el hormigón endurecido.....	-61-
5.3.1 Realización de las probetas.....	-61-
5.3.1.1Ejecución de las probetas.....	-63-
5.3.2 Conservación y curado de las probetas.....	-64-
5.3.3 Ensayo de compresión.....	-65-
5.3.3.1 Acabado superficial.....	-65-
5.3.3.2 Método de ensayo a compresión.....	-66-
5.4 Ensayos experimentales.....	-68-
5.4.1 Introducción.....	-68-
5.4.2 Desarrollo del proyecto.....	-68-
5.4.3 Fabricación del hormigón.....	-70-
5.4.4 Ensayo de consistencia del hormigón.....	-71-
5.4.5 Realización de las probetas.....	-71-
5.4.6 Ensayo de compresión.....	-73-
5.5 Resultados.....	-74-
5.5.1 Aditivos marca A.....	-74-
5.5.2 Aditivos marca B.....	-78-



5.5.3 Aditivos Marca C.....	-82-
<b><u>CAPITULO 6 CONCLUSIONES</u></b> .....	-85-
6.1 Introducción.....	-86-
6.2 Comportamiento de las parejas de aditivos.....	-87-
<b><u>ANEXOS Y BIBLIOGRAFIA</u></b> .....	-91-
<b>Referencias</b> .....	-93-
Bibliografía y fuentes.....	-95-
Páginas web consultadas.....	-95-
<b>Normas</b> .....	-97-



# **CAPITULO 1**

## **MOTIVACIÓN Y OBJETIVO**



## 1.1 Introducción.

La presente investigación realizada en este proyecto, tiene como objetivo observar el comportamiento de uno de los materiales más importantes e influyentes en el mundo de la construcción como es el hormigón.

El proyecto está basado en la importancia e influencia del cemento y los aditivos en el hormigón, para poder realizar éste de una manera que se adecúe a las necesidades que en cada momento demande el usuario de una forma óptima.

El hormigón es el material más importante en la construcción, es el resultante de unir áridos con la mezcla de agua y un conglomerante, en éste caso cemento. Éste, confiere al hormigón su fraguado y endurecimiento. El cemento se hidrata en contacto con el agua y así se inician las reacciones químicas, que lo convierten en maleable y con buenas propiedades adherentes, aunque con el paso del tiempo, desemboca en una aceleración del fraguado, perdiendo las características deseadas.

Para poder modificar algunas de las propiedades del hormigón, se usarán aditivos químicos que, dependiendo de su dosificación, hacen que mejoren o empeoren sus propiedades, de ahí la importancia de este estudio realizado.

Nos centraremos en el estudio de los aditivos reductores de agua, más concretamente, los **superplastificantes**, los cuales tienen la finalidad de disminuir la relación agua-cemento, lo que implica un aumento de la resistencia, empleando un tipo de **cemento normal (AL)**.

## 1.2 Objetivo.

El principal objetivo de este estudio es, a partir de un patrón predefinido encontrar la mejor dosificación posible, es decir, la que obtenga la resistencia requerida y al mismo tiempo sea más económica, modificando tanto la cantidad de cemento, como las distintas dosis de aditivos. En este proyecto se van a utilizar tres duplas de aditivos comerciales (un superplastificante y otro polifuncional).

Para conseguir este objetivo se realizaran múltiples y diferentes masadas de hormigón, siguiendo un patrón predefinido y modificando principalmente dos variables importantes, como son la cantidad de cemento y de aditivo, con el propósito de encontrar un determinado tipo de cono de Abrams.

A partir de ahí, se buscará la dosificación más económica, ya que, principalmente este propósito es el más demandado por el mercado actual, reducir los costes.

Todos estos ensayos se realizarán en el laboratorio de la empresa MLN, gracias al equipo y materiales prestados por dicha empresa para poder desarrollar nuestro proyecto.

## 1.3 Descripción del Proyecto.

A continuación se explica la estructuración del presente proyecto:

- Capítulo 2: "Tipos de cemento"

En este capítulo se intenta dar al lector una introducción de los distintos tipos de cemento que hay según la norma UNE, las propiedades de los mismos, indicando cuál es apropiado para distintas condiciones, su composición y por último qué cemento es usado en este proyecto.

- Capítulo 3: "Aditivos del hormigón"

En el siguiente capítulo se resumen todos los tipos de aditivos que existen en el mercado, según diferentes normas o criterios de clasificación y las propiedades que éstos tienen y confieren al hormigón, centrando la atención en los aditivos superplastificantes.

- Capítulo 4: "Materiales y equipos utilizados"

A lo largo de este capítulo se definen tanto las propiedades, como las características de los equipos utilizados en la realización del presente proyecto.

- Capítulo 5: "Ensayos y resultados"

El quinto capítulo consta en primer lugar de la descripción de la metodología teórica seguida para llevar a cabo la realización de los diferentes ensayos del proyecto, y posteriormente, se muestran los resultados obtenidos de la realización de esos ensayos, analizando los resultados obtenidos.

- Capítulo 6: "Conclusiones"

Por último, se exponen las diversas conclusiones de los ensayos y resultados obtenidos en el capítulo 5.

# **CAPITULO 2**

# **TIPOS DE CEMENTO**





## 2.1 Definición.

Se definen como cemento: “al conglomerante hidráulico que, convenientemente amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como bajo agua”.

## 2.2 Clasificación del cemento según la norma UNE.

En este apartado se clasificarán los cementos según la norma UNE:

CEMENTOS COMUNES: UNE-EN 197-1:2000.

CEMENTOS COMUNES CON CARACTERÍSTICAS ADICIONALES:

- CEMENTOS RESISTENTES A SULFATOS (SR): UNE 80303-1:2001.
- CEMENTOS RESISTENTES AL AGUA DEL MAR (MR): UNE 80303-2:2001.
- CEMENTOS DE BAJO CALOR DE HIDRATACION (BC): UNE 80303-3:2001.

CEMENTOS BLANCOS: UNE 80305:2001.

CEMENTOS PARA USOS ESPECIALES: UNE 80307:2001.

En la siguiente tabla (tabla2.1) se muestran la clasificación de los cementos según la norma UNE:

**Tabla2.1**  
**CLASIFICACION SEGÚN NORMA UNE.**

Referencias	Normas	Cementos	Clase de resistencia	Especificaciones físicas										
				Fraguado		Expansión	Calor de hidratación	Blancura	Finura	Norma EN 413-1:1994	Normas de ensayo			
				Principio	Final									
				Minutos	Milímetros	J/g cal/g								
1	UNE-EN 197-1:2000	TODOS	32.5 N R	≥ 75	...	≤ 10	...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1996	UNE-EN 196-3:1994	UNE-EN 196-3:1994	
	UNE-80303-1:2001		42.5 N R	≥ 60										≤ 272 ≥ 65
	UNE-80303-2:2001		52.5 N R	≥ 45										
	UNE-80303-3:2001													
2	UNE-80305:2001	BL 22.5 X	22.5 N	≥ 60	≤ 15 H	≤ 10	...	L* ≥ 85.0	≤ 15 % 90 μm	Como 6	Como 6	UNE-EN 80117:2001		
		El resto	Como 1						...	Como 1				
3	UNE-80307:2001	ESP VI-1	22.5 N	≥ 60	...	≤ 10	...	...	...	...	UNE-EN 196-3:1994	UNE 80102	UNE 80116	
			32.5 N											
			42.5 N											
4	UNE-80309:1994	CNR 4	4	≥ 1	≤ 8	...	...	...	≤ 17 % 160 μm	...	UNE-EN 196-1	UNE-EN 196-3	UNE-EN 413-2	
		CNR 8	8						≤ 35 % 80 μm					
		CNL 8	8						≥ 10					≤ 120
5	UNE-80310:1996	CAC/R	...	≥ 60	...	...	...	...	...	...	UNE-EN 196-1	UNE-EN 196-3	UNE-EN 196-3	
6	ENV 413-1:1994	MC 5	5	≥ 60	≤ 15 H	≤ 10	...	...	≤ 15 % 90 μm	Otras exigencias (ver norma EN 413-1:1994)	UNE-EN 196-1	UNE-EN 196-3	UNE-EN 413-2	
	MC 12.5	12.5												
	MC 12.5 X													
	MC 22.5 X	22.5												

## 2.3 Tipos de cemento.

Existen diferentes tipos de cemento:

- **Tipo I:** normal es el cemento Pórtland destinado a obras de hormigón en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo, (Edificios, estructuras industriales, conjuntos habitacionales). Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.
- **Tipo II:** de moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento Pórtland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado (Puentes, tuberías de hormigón).
- **Tipo III:** Alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de hormigón reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado.
- **Tipo IV:** Se requiere bajo calor de hidratación en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado.
- **Tipo V:** Usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas, obras portuarias).

A continuación se muestran los diferentes tipos y subtipos de cementos (*tabla 2.2*) y aplicaciones (*tabla 2.3*) que nos podemos encontrar, así como su designación en el mercado y su denominación.

**Tabla 2.2**  
**TIPOS Y SUBTIPOS DE CEMENTO.**

Tipo de cemento	Subtipo	Denominación	Designación
CEM I	Sin subtipo	Cemento Portland	CEM I
CEM II	A B	Cemento Portland con escoria de horno alto	CEN II/A-S CEM II/B-S
	Sólo A	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D
	A B	Cemento Portland con puzolana natural	CEM II/A-P CEM II/B-P
	A B	Cemento Portland con puzolana natural calcinada	CEM II/A-Q CEM II/B-Q
	A B	Cemento Portland con ceniza volante sílicea	CEM II/A-V CEM II/B-V
	A B	Cemento Portland con ceniza volante calcárea	CEM II/A-W CEM II/B-W
	A B	Cemento Portland con esquisto calcinado	CEM II/A-T CEM II/B-T
	A B	Cemento Portland con caliza L	CEM II/A-L CEM II/B-L
	A B	Cemento Portland con caliza LL	CEM II/A-LL CEM II/B-LL
	A B	Cemento Portland mixto con todas las adiciones	CEM II/A-M CEM II/B-M
CEM III	A B C	Cemento con escoria de horno alto	CEM III/A CEM III/B CEM III/C
CEM IV	A B	Cemento puzolánico con D, P, Q, V, W	CEM IV/A CEM IV/B
CEM V	A B	Cemento compuesto co S, P, Q, V	CEM V/A CEM V/B

**Tabla 2.3**  
**APLICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO.**

CEMENTOS DE LA NORMA UNE-EN 197-1:2000	
CEM I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HORMIGONES DE MUY ALTAS RESISTENCIAS.</li> <li>• OBRAS PUBLICAS ESPECIALES EN HORMIGON PRETENSADO.</li> <li>• PREFABRICACION DE ELEMENTOS DE HORMIGON.</li> </ul>
CEM II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HORMIGONES Y MORTEROS EN GENERAL</li> </ul>
CEM III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HORMIGONES EN AMBIENTES AGRESIVOS: SULFATOS DE TERENOS. AGUA DE MAR.</li> </ul>
CEM IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HORMIGONES Y MORTEROS EN GENERAL, EN AMBIENTES ACIDOS MODERADAMENTE AGRESIVOS.</li> <li>• OBRAS HIDRAULICAS</li> </ul>
CEM V	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESTABILIZACION DE SUELOS Y TERRENOS.</li> <li>• BASES TRATADAS PARA CARRETERAS Y FIRMES DE HORMIGON.</li> <li>• PARA GRANDES MACIZOS DE HORMIGON DE PRESAS (HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO)</li> </ul>

## 2.4 Principales componentes del cemento.

Los principales componentes del cemento son dos: el clinker de cemento y otros componentes adicionales que lo acompañan. A continuación se presentan brevemente sus características.

### 2.4.1 Clinker de cemento:

Se define como: “sustancia que se obtiene como resultado de la calcinación en horno, de mezclas de calizas arcillosas preparadas artificialmente con adición eventual de otras materias.”. Hay dos tipos de clinker:

- **Clinker del cemento Portland:**

El clinker Portland (figura 2.1) se forma tras calcinar caliza y arcilla, preparadas artificialmente, a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C. ( fusión parcial) hasta conseguir la combinación prácticamente total de sus componentes.

*Figura 2.1 Clinker de cemento Portland*



- **Clinker de cemento de aluminato de calcio:**

Son productos que se obtienen por fusión de una mezcla de calizas y bauxitas de composición y granulometría adecuadas para conseguir un contenido mínimo de alúmina del 36%.

### 2.4.2 Componentes adicionales que acompañan al clinker.

Existen otros componentes que se añaden al clinker para la producción de cemento. Los más utilizados se resumen a continuación.

- **Escoria granulada de alto horno:**

Son granulados de alto horno, que se obtienen por templado o enfriado brusco, con agua o con aire, de la ganga fundida procedente de procesos siderúrgicos.

- **Puzolanas:**

Las puzolanas son sustancias naturales de composición silíceo o sílicoaluminosa o combinación de ambas.

Se pueden dividir en dos tipos de puzolanas:

-Las puzolanas naturales (P) son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias con composición química y mineralógica adecuadas.

-Las puzolanas naturales calcinadas (Q) son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

- **Cenizas volantes:**

Se obtienen por precipitación electrostática o mecánica de partículas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado.

Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silícea (V) o calcárea (W). Las primeras tienen propiedades puzolánicas, las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas.

- **Caliza:**

Son compuestos principalmente de carbonato cálcico en forma de calcita (superior al 85%), que molidos conjuntamente con el clinker portland, en proporciones y comportamiento de los morteros y hormigones, tanto frescos como endurecidos. Su acción principal es de carácter físico: dispersión, hidratación trabajabilidad, retención de agua, capilaridad, permeabilidad, retracción y fisuración.

- **Humo de sílice:**

Es un subproducto de la obtención del silicio y del ferrosilicio. Se reduce en horno eléctrico cuarzo muy puro y carbón, recogándose del humo generado mediante filtro electrostático, partículas de muy pequeño diámetro formadas, principalmente, por sílice muy reactivo.

A continuación se muestra (*tabla 2.4*) la designación de cada uno de los componentes descritos con anterioridad.

***Tabla 2.4***  
***DESIGNACION DE LOS COMPONENTES ADICIONALES DEL CEMENTO.***

Adiciones	
Denominaciones	Designaciones
Escoria de horno alto	S
Humo de sílice	D
Puzolana natural	P
Puzolana natural calcinada	Q
Ceniza volante silícea	V
Ceniza volante calcárea	W
Esquisto calcinado	T
Caliza L	L
Caliza LL	LL

Para terminar este apartado, se puede resumir con la siguiente tabla (tabla 2.5) que nos muestra los tipos de cemento, designación y componentes de cada uno de ellos.

**Tabla 2.5**  
**DIFERENTES TIPOS DE CEMENTO Y SU COMPOSICION.**

TIPO DE CEMENTO	Designación de los 27 productos (Tipos de cementos comunes)		Proporción en masa (1) Componentes principales											COMPONENTES MINORITARIOS
			CLINKER  K	ESCORIA DE HORNO ALTO  S	HUMO DE SILICE (2)  D	PUZOLANAS		CENIZAS VOLANTES		ESQUISTOS CALCINADOS  T	CALIZAS			
						Natural  P	Neto calcinado  Q	Silíceas  V	Calcareas  W		L	LL		
CEM I	Cemento Portland	CEM I	95 - 100											0 - 5
CEM II	Cemento Portland con escoria	CEM II / A-S	80 - 94	6 - 20										0 - 5
		CEM II / B-S	65 - 79	21 - 35										0 - 5
	Cem. Port. con humo de sílice	CEM II / A-D	90 - 94		6 - 10									0 - E
	Cemento Portland con puzolana	CEM II / A-P	80 - 94			6 - 20								0 - 5
		CEM II / B-P	65 - 79			21 - 35								0 - 5
		CEM II / A-Q	80 - 94				6 - 20							0 - 5
		CEM II / B-Q	65 - 79				21 - 35							0 - 5
	Cemento Portland con ceniza volante	CEM II / A-V	80 - 94					6 - 20						0 - 5
		CEM II / B-V	65 - 79					21 - 35						0 - 5
		CEM II / A-W	80 - 94						6 - 20					0 - 5
		CEM II / B-W	64 - 79						21 - 35					0 - 5
	Cemento Portland con esquistos calcinados	CEM II / A-T	80 - 94							6 - 20				0 - 5
		CEM II / B-T	65 - 79							21 - 35				0 - 5
	Cemento Portland con caliza	CEM II / A-L	80 - 94									6 - 20		0 - 5
		CEM II / B-L	65 - 79									21 - 35		0 - 5
		CEM II / A-LL	80 - 94										6 - 20	0 - 5
		CEM II / B-LL	65 - 79										21 - 35	0 - 5
	Cemento Portland mixto (3)	CEM II / A-M	80 - 94	6 - 20	6 - 20	6 - 20	6 - 20	6 - 20	6 - 20	6 - 20	6 - 20	6 - 20	6 - 20	0 - 5
		CEM II / B-M	65 - 79	21 - 35	21 - 35	21 - 35	21 - 35	21 - 35	21 - 35	21 - 35	21 - 35	21 - 35	21 - 35	0 - 5
CEM III	Cemento con escorias de de horno alto	CEM III / A	35 - 64	36 - 65										0 - 5
		CEM III / B	20 - 34	66 - 80										0 - 5
		CEM III / C	5 - 19	81 - 95										0 - 5
CEM IV	Cemento Puzolánico	CEM IV / A	65 - 89											0 - 5
		CEM IV / B	45 - 64											0 - 5
CEM V	Cemento Compuesto	CEM V / A	40 - 64	18 - 30		18 - 30	18 - 30	18 - 30						0 - 5
		CEM V / B	20 - 38	18 - 30		18 - 30	18 - 30	18 - 30						0 - 5

## 2.5 Selección del cemento.

Para la elección del tipo de cemento más adecuado, ha de tenerse en cuenta una gran variedad de factores y ponderar adecuadamente los mismos, pudiendo ocurrir que en ocasiones haya que adoptar soluciones de compromiso. Para facilitar esta toma de decisión se va a señalar los factores, positivos y negativos, a valorar en la elección del tipo de cemento más adecuado.

- Tipo de cemento: los cementos con mayor contenido de clinker (por ejemplo los tipo CEM I) desarrollan una mayor cantidad de calor al hidratarse. Esta cantidad de calor va disminuyendo a medida que va aumentando el contenido de adiciones activas a los mismos. Sin embargo, si el contenido de adiciones activas es importante (por ejemplo, en los cementos tipo CEM III, CEM IV y CEM V) el tiempo necesario para fraguar el hormigón es mayor, aumentado la sensibilidad del cemento a la falta de agua y el riesgo de que no se produzca una adecuada formación e hidratación de sus componentes si no se cuidan y respetan las condiciones de curado.

- Clase resistente: cuanto mayor es la clase resistente del cemento mayor será, en general, su finura de molido, lo que supondrá una mayor velocidad en el desarrollo de las reacciones químicas de hidratación, con el consiguiente incremento de la cantidad de calor desprendido, lo que no es en absoluto conveniente en tiempo caluroso.

Para la determinación de la finura de molido existen varios métodos de ensayo, siendo el más conocido el de la *superficie específica Blaine* (Norma UNE 80.122). Consiste en determinar la superficie de un gramo de cemento cuyas partículas estuviesen totalmente sueltas, expresándose en centímetros cuadrados. La superficie específica de Blaine de los distintos cementos está comprendida, generalmente, entre 2500 y 4000 centímetros cuadrados.

Otros métodos para determinar la superficie específica de molido son por tamizado en seco (Norma UNE 80.107) y por tamizado húmedo (Norma UNE 80.107).

- Características especiales: los cementos de bajo calor de hidratación (BC) están especialmente indicados para este tipo de aplicaciones, sobre todo si además los volúmenes de hormigonado son importantes.

Por lo general, los cementos resistentes a los sulfatos (SR) y al agua de mar (MR) desprenden también menor cantidad de energía durante su hidratación al tener limitado los contenidos de  $CA_3$  y  $CAF_4$ .

- Contenido de cemento: a mayores contenidos de cemento, mayor cantidad de calor de hidratación generado, a igualdad de todos los demás factores.

## 2.5.1 Elección del cemento para la realización del proyecto.

Tras tener en cuenta todo lo mencionado en el apartado anterior, el tipo de cemento seleccionado para este proyecto es EN 197-1 CEMII/A-L-42.5R.

### DEFINICION

Está sujeto al marcado CE, cemento portland con caliza, tipo A (contenido en caliza 6-20%) clase resistente 43.5 y alta resistencia inicial.

### PROPIEDADES

Presenta unas características específicas dadas por la adicción de la caliza:

- Mayor trabajabilidad para hormigones y morteros.
- Menor calor de hidratación.
- Menor retracción.
- Menor fisuración.
- Mejora de la durabilidad.

Recomendado para la elaboración de:

- Hormigón para prefabricados no estructurales.
- Hormigón armado y en masa de altas resistencias mecánicas.
- Hormigón para desencofrados, descimbrados y desmoldados rápidos.
- Hormigones vistos o arquitectónicos.

### CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO (UNE-EN 197-1:2000).

Para terminar de definir el cemento, que aún se detallará más en el capítulo 4, se muestra (tabla 2.6) de forma abreviada las características mecánicas, físicas y químicas según la norma.

**TABLA 2.6**  
**CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO 'EN 197-1 CEMII/A-L-42.5R'.**

CARATERÍSTICAS DEL CEMENTO:			Resultados			Especificaciones según UNE-EN 197-1
			media	Inferior	Superior	
CARACETERÍSTICAS MECÁNICAS	Resistencia a Compresión MPa	2 días	27,5	25,8	29,2	≥ 20 MPa
		28 días	50,8	46,0	55,6	≥ 42.5 Mpa ≤ 62.5 Mpa
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Tiempos de fraguado (min)	Inicio	290	250	330	≥ 60 min
		Fin	345	305	385	≤ 12 h
	Expansión (mm)		0,5	0,0	1,2	≤ 10 mm
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	Contenido en sulfatos (%)		2,30	1,89	2,88	≤ 4%
	Contenido en Cloruros (%)		0,01	0,01	0,01	≤ 0.1%
	Composición en núcleo de cemento (%)	% Clinker	82,7	80,5	83,7	80 - 94 %
		% Componentes de adiciones	17,3	16,3	19,5	6 - 20 %
		% Componentes minoritarios	0,0	-	-	≤ 5%
	Contenido en Cr VI soluble (%)		0,0000	0,0000	0,0000	< 0.0002%



# **CAPITULO 3**

## **ADITIVOS PARA EL HORMIGÓN.**



## 3.1 Introducción.

Según la norma UNE. EN 934-2, "Aditivos para hormigones, morteros y pastas" el aditivo se define como: "Producto incorporado en el momento del amasado del hormigón en una cantidad no mayor del 5% en masa, con relación al contenido de cemento en el hormigón, con objetivo de modificar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o endurecido".

El empleo de los aditivos permite controlar algunas propiedades del hormigón, tales como las siguientes:

- Trabajabilidad y exudación en estado fresco.
- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento.
- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.

También se usan para solucionar situaciones difíciles, tales como hormigonado en lugares cálidos o fríos, problemas de bombeo, desarrollo rápido de resistencias o exigencias de muy baja relación agua/cemento.

Además de su acción principal o específica, los aditivos suelen ejercer otras acciones secundarias, favorables o desfavorables. Como tales acciones dependen fundamentalmente del resto de los componentes del hormigón y de las condiciones ambientales, conviene realizar en cada caso ensayos previos de carácter comparativo, confeccionando amasadas de prueba para conocer las ventajas y limitaciones de cada familia de aditivos para su óptimo funcionamiento y rendimiento. El aditivo, a pesar de ser el componente que se formula en menor proporción, es el que químicamente está más definido y está sujeto a mayor número de controles.

Su uso estará condicionado por:

- Obtener el resultado deseado sin tener que variar en gran medida la dosificación recomendada por el fabricante.
- No tener efectos desfavorables en otras propiedades del hormigón.
- Obtener un análisis de costes que justifique su empleo.

## 3.2 Clasificación.

Existen multitud de clasificaciones según la norma que las define. A continuación se exponen distintas maneras de clasificar los aditivos para demostrar que en todas ellas aparece la misma tipología de aditivos.

### 3.2.1 Norma técnica ASTM C494/C260/1017.

- C494:
  - Tipo A: Reductor de agua.
  - Tipo B: Retardante de fraguado.
  - Tipo C: Acelerante.
  - Tipo D: Reductor de agua y retardante.
  - Tipo E: Reductor de agua y acelerante.
  - Tipo F: Reductor de agua de alto rango.
  - Tipo G: Reductor de agua de alto rango y retardante.
- C260:
  - Aditivos incorporadores de aire.
- 1017:
  - Tipo I: Superplastificante.
  - Tipo II: Superplastificante y retardante del fraguado.

### 3.2.2 Centro Tecnológico del hormigón (C.T.H).

- Retardador de fraguado.
- Acelerador de fraguado y endurecimiento.
- Plastificante.
- Plastificante / retardador.
- Plastificante / acelerador.
- Superplastificante.
- Superplastificante / retardador.
- Incorporador de aire.

### **3.2.3 Instrucción del hormigón estructural (EHE 08).**

- Reductores de agua / Plastificantes.
- Reductores de agua de alta actividad / Superplastificantes.
- Modificadores de fraguado / Aceleradores, retardadores.
- Inclusiones de aire.
- Multifuncionales.

### **3.2.4 Norma AFNOR P 18-123.**

1. *Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco:*

- 1.1. Plastificantes – Reductores de agua.
- 1.2. Incorporadores de aire.
- 1.3. Polvos minerales Plastificantes.
- 1.4. Estabilizadores.

2. *Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:*

- 2.1. Aceleradores de fraguado y/o Endurecimiento.
- 2.2. Retardadores de Fraguado.

3. *Aditivos que modifican el contenido de aire:*

- 3.1. Incorporadores de Aire.
- 3.2. Antiespumantes.
- 3.3. Agentes formadores de Gas.
- 3.4. Agentes formadores de Espuma.

4. *Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:*

- 4.1. Incorporadores de Aire.
- 4.2. Anticongelantes.
- 4.3. Impermeabilizantes.

5. *Aditivos misceláneos:*

- 5.1. Aditivos de cohesión – emulsiones.
- 5.2. Aditivos combinados.
- 5.3. Colorantes.
- 5.4. Agentes formadores de espuma.

### 3.3 Aditivos más habituales.

A continuación se muestran los principales aditivos utilizados en construcción. En primer lugar se citan aquellos aditivos capaces de reducir el agua de amasado.

#### **ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA**

##### **Plastificantes:**

###### **Dosificación**

- 0,3% - 0,6% del peso del cemento.

###### **Propiedades**

- Reduce el contenido de agua del hormigón (5-10%) para docilidad constante.
- Aumenta la docilidad con agua de amasado constante.
- Efecto secundario: retraso de fraguado.
- Mayor facilidad de compactación y colocación.

###### **Aplicaciones**

- Hormigón pretensado o armado y prefabricados de alta resistencia.
- Hormigones bombeados.
- Hormigonado de elementos estrechos.

###### **Limitaciones**

- Reducción de agua limitada por el efecto retardante.
- Al incrementar la dosificación aumenta el efecto retardante.
- Las sobredosificaciones pueden producir oclusiones de aire y reducen la resistencia mecánica.

##### **Superplastificantes:**

###### **Dosificación**

- 0,5% - 2% del peso del cemento.

###### **Propiedades**

- Reduce el contenido de agua: convencional (12-25%) y de nueva generación (35-40%).
- Aumentan las resistencias como reductores de agua, y como fluidificantes, aumentan la docilidad.
- Consistencia fluida.
- Calidad homogénea, mínima segregación y exudación.
- Disminución de retracciones y fisuración.
- Facilidad de colocación.

### **Aplicaciones**

- Hormigón bombeado, bajo agua, pretensado.
- Hormigón de alta resistencia.
- Hormigón de buena terminación.
- Morteros y lechadas de inyección.
- Hormigón para elementos esbeltos, con alta densidad de armaduras.

### **Limitaciones**

- Una elevada dosis puede dificultar el control de los parámetros (consistencia, segregación, etc.) en función de ligeras variaciones de humedad, temperatura, contenido de finos, etc. En caso extremo, segregación y exudación.

### **Polifuncional:**

#### **Dosificación**

- 0,3% – 1,2% del peso del cemento.
- Utilizables como plastificantes a bajas dosificaciones y como superplastificantes a dosis elevadas.

#### **Propiedades**

- Amplia gama en función de los requisitos (reducción de agua, tiempos de fraguado) y de los materiales empleados.
- No provocan intensos retrasos de fraguado ni oclusión de aire (según las condiciones).

#### **Aplicaciones**

- Especialmente en hormigón preparado en central hormigonera.

#### **Limitaciones**

- Sobredosis: retraso de fraguado y oclusión de aire.

En segundo lugar se hace referencia a aquellos aditivos de acción específica sobre alguna propiedad en concreto del hormigón.

## **ADITIVOS DE ACCIÓN ESPECÍFICA**

### **Inclusores de aire:**

#### **Dosificación**

- 0,1% - 0,7% del peso del cemento.

#### **Propiedades**

- Produce burbujas de aire que mejoran la resistencia al hielo-deshielo.
- Algún tipo de aireantes tienen a la vez carácter plastificante/reductor de agua. Esto permite reducir agua y compensar la pérdida de resistencia por oclusión de aire.

#### **Aplicaciones**

- Protección al hielo-deshielo.
- Protección contra agentes químicos.

#### **Limitaciones**

- Menor resistencia mecánica.

### **Acelerantes:**

#### **Dosificación**

- 0,5% - 2% del peso del cemento.

#### **Propiedades**

- Reducción del tiempo de fraguado en función de la temperatura, dosis, etc.
- Aumento de resistencias iniciales.
- Reducción de resistencia a largo plazo.

#### **Aplicaciones**

- Hormigonado en tiempo frío.
- Hormigón proyectado.
- Hormigón prefabricado.
- Reparaciones.

#### **Limitaciones**

- Pueden contener cloruros, por lo que hay que tener cuidado al aplicarlo a hormigones armados por la corrosión de las armaduras.

### **Retardantes:**

#### **Dosificación**

- 0,1% - 1% del peso del cemento.



### **Propiedades**

- Retardan el inicio de fraguado manteniendo la docilidad por más tiempo.
- Reducen el riesgo de fisuración al permitir la disipación del calor de hidratación por más tiempo.
- Aumentan las resistencias a largo plazo.

### **Aplicaciones**

- Hormigonado en tiempo caluroso.
- Hormigones lentos, en trayectos largos y hormigonado de grandes masas.
- Hormigón bombeado.
- Hormigón premezclado.

### **Limitaciones**

- Sobredosis: Retraso de fraguado excesivo.

### **Impermeabilizantes:**

#### **Dosificación**

- 0,5% - 3% del peso del cemento.

#### **Propiedades**

- Disminuyen absorción de humedad.
- Aumentan la impermeabilidad.
- Reducen la relación A/C e interrumpen la red capilar.
- Reducen penetración de agua bajo presión.

#### **Aplicaciones**

- Hormigones subterráneos.
- Losas de cubiertas.
- Estanques de hormigón.
- Estucos exteriores.
- Obras hidráulicas (canales, presas...).

#### **Limitaciones**

- El uso debe unirse a una buena dosificación, compactación y curado.
- Sobredosis: Segregación.

Además de los aditivos más comúnmente empleados, existen multitud de productos de acción simple o múltiple, con los que se pueden variar otras propiedades del hormigón: Expansivos o compensadores de retracción, endurecedores de superficie, colorantes, hidrofugantes, inhibidores de corrosión, insecticidas, anticongelantes, cohesionantes o multifuncionales.

### 3.4 Aditivos reductores de agua.

En este apartado se van a presentar las principales características de los reductores de agua, los cuales como su nombre indica tienen como función principal reducir el contenido de agua de la mezcla.

El hecho de producir hormigón con menos agua sin que se pierda la facilidad de colocación, mediante el uso de aditivos, significa aumentar la resistencia mecánica. Obtener hormigones más impermeables y construcciones más durables en el tiempo.

Con respecto a un hormigón confeccionado sin aditivo, el hormigón con reductor de agua presenta las siguientes propiedades:

- El agua de amasado requerida para una docilidad dada disminuye en un grado dependiente del tipo y dosis del aditivo y del tipo de cemento principalmente.
- La disminución de la relación agua/cemento produce un aumento de la resistencia e impermeabilidad en un grado proporcional al agua reducida.
- Si el agua de amasado se mantiene, aumenta la docilidad en un grado dependiente del tipo y dosis del aditivo y del tipo de cemento principalmente. Como la relación agua/cemento no varía, tampoco varía la resistencia mecánica.

A continuación se procederá a una breve explicación sobre cada uno de estos aditivos haciendo especialmente hincapié en los aditivos superplastificantes ya que son los aditivos utilizados en el desarrollo de este proyecto.

#### **Aditivos reductores: Capacidad reductora**

Cada aditivo es capaz de reducir la cantidad de agua requerida por el cemento en un determinado porcentaje que se muestra a continuación:

- Plastificantes 10-11%
- Polifuncionales 12-15%
- Superplastificantes 20-25%
- Superplastificantes de nueva generación 30-40%

**Aditivos Consistencia: Relación a/c**

- Plastificante Blanda 0,5-0,7.
- Polifuncionales Blanda 0,45-0,65.
- Superplastificante Fluida 0,4-0,5.
- Superplastificante de nueva generación Fluida 0,28-0,65.

### **3.4.1 Plastificantes.**

#### **3.4.1.1 Introducción.**

La acción de los aditivos plastificantes puede ser causada por el efecto combinado de acciones de tipo físico, químico y fisicoquímico, dependiendo la preponderancia de alguna de ellas de su composición.

La acción física deriva principalmente de la incorporación de aire que producen algunos aditivos, cuyas burbujas, al actuar como especies de rodamientos entre las partículas solidas, disminuyen la fricción interna.

La acción química proviene principalmente de una disminución de la velocidad de hidratación de los constituyentes del cemento, especialmente de los aluminatos. Se obtiene de este modo una acción más completa (mejor mojado) de los granos de cemento, lo que permite también disminuir el roce interno entre las partículas.

#### **3.4.1.2 Características.**

El aumento de la trabajabilidad permite la colocación del hormigón en estructuras complicadas, con alta densidad de armadura o con efectos superficiales especiales sin necesidad de incrementar la cantidad de agua de amasado y por consiguiente la dosis de cemento para obtener las resistencias especificadas.

La disminución de la dosis de agua (entre un 5-10%) y en consecuencia de la relación agua-cemento, manteniendo una determinada trabajabilidad, permite aumentar la compacidad del hormigón y, por consiguiente, su resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Por la misma razón, la retracción y en consecuencia, la tendencia a la fisuración se ven disminuidas.

La dosificación usando ésta entre un 0.3-0.6 % del peso del cemento.

Se puede producir un efecto secundario como consecuencia de sobredosis que dará lugar a un retraso del fraguado.

#### **3.4.1.3 Limitaciones.**

Reducción de agua limitada por el efecto retardante.

Si se produce un aumento de la dosificación se producirá un aumento del efecto retardante.

Las sobredosis pueden producir oclusiones de aire que darán lugar a una disminución de la resistencia mecánica.

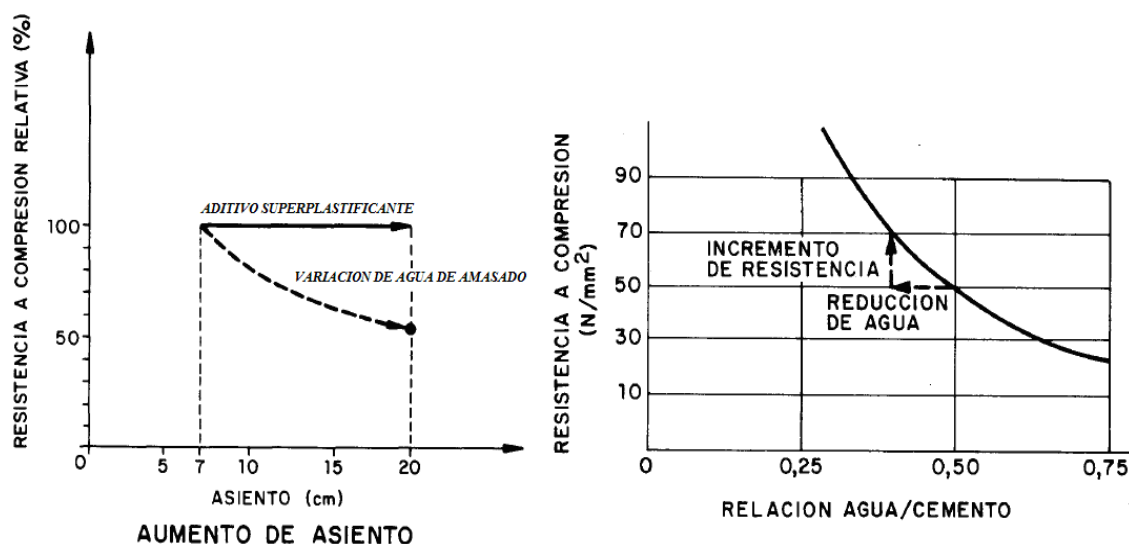
### 3.4.2 Superplastificantes.

Los superplastificantes se emplean con el objeto de aumentar significativamente la trabajabilidad para una relación agua/cemento dada, producir una reducción considerable de la relación a/c para una determinada trabajabilidad, y obtener simultáneamente ambos efectos.

La fuerza del hormigón es inversamente proporcional a la cantidad de agua añadida. Si se busca producir un hormigón más fuerte se añade menos agua a la mezcla, lo que la hace menos trabajable, siendo necesario el uso de superplastificantes. Este tipo de aditivos son una extensión de los aditivos reductores de agua normales (plastificantes) y son formulados con materiales que permiten una adición mucho mayor a las mezclas de hormigón sin que aparezcan efectos indeseables tales como oclusiones de aire o retardaciones del fraguado excesivas. De este modo, puede ser producido un hormigón con relación agua/cemento normal, pero teniendo una gran trabajabilidad. Esta gran trabajabilidad puede ser usada también para efectuar considerables reducciones en la relación agua/cemento, de forma que se puedan alcanzar resistencias muy altas (figura 3.1).

Figura 3.1

Efecto del aditivo, relación agua-cemento y la resistencia del hormigón



Estos aditivos se denominan también como reductores de agua de alta actividad, y son utilizados en mayor proporción que los convencionales plastificantes. Al igual que éstos, los superplastificantes son surfactantes que se caracterizan por poseer actividad superficial debido a que en su composición química incluyen grupos hidrofílicos y grupos hidrofóbicos. Los superplastificantes son polímeros de alto peso

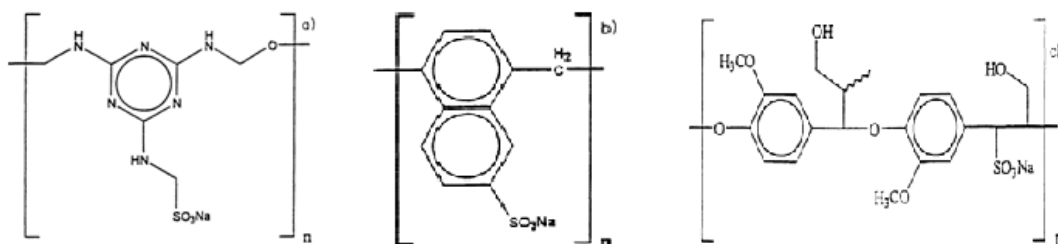
molecular solubles en agua. La solubilidad del aditivo está asegurada por la presencia de hidroxilos y grupos sulfonato o carboxílicos unidos a la cadena orgánica, la cual es normalmente aniónica.

De modo general, se puede considerar que hay cuatro grandes categorías de superplastificantes que se utilizan en la industria del hormigón. Estos son:

- Condensados de melamina-formaldehido sulfonado (SMF). Estos aditivos fueron desarrollados en Alemania en los años 60. El grado de condensación está habitualmente en el rango de 50-60, de ahí que los pesos moleculares sean del orden de 12.000-15.000.
- Condensados de naftalen-formaldehido sulfonados (SNF). Fueron desarrollados en Japón, en 1963. En este aditivo el grado de condensación es de 5-10 y el peso molecular está en el rango de 1000-2.000.
- Lignosulfonatos modificados. Son materiales purificados en los que se han eliminado todas las impurezas de carbohidratos. Tienen altos pesos moleculares. Estos lignosulfonatos obtenidos en los procesos de refinamiento se aproximan a los condensados en términos de comportamiento, aunque tienen una mayor tendencia a retener aire.
- Otros polímeros sintéticos, tales como poliésteres, carboxílicos, vinilos, polímeros hidroxilados y dispersiones de copolímeros, bien aislados o en combinación.

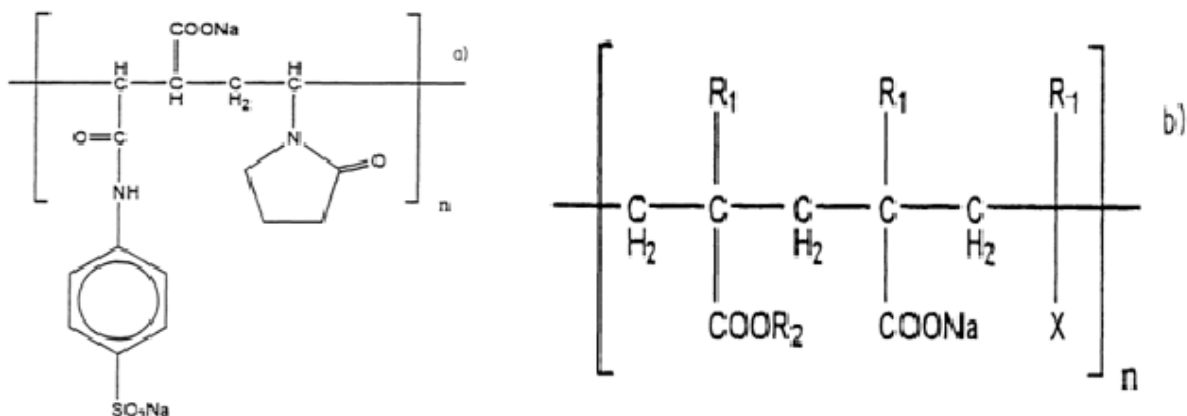
Los tres primeros se caracterizan por tener el mismo grupo funcional (figura 3.2), el grupo sulfonato.

**Figura 3.2.**  
**Unidades moleculares de: a) SMF, b) SNF, c) Lignosulfonatos modificados.**



Más recientemente, se han desarrollado, y continúa haciéndose en la actualidad, otros polímeros surfactantes en los que los grupos funcionales responsables de su solubilidad en agua son del tipocarboxílico o hidróxilo. Dentro de éstos destacan los policarboxilatos o poliacrilatos que tienen unas propiedades dispersantes mayores que los polímeros basados en grupos sulfonatos. En la Figura 3.3a, se muestra la unidad molecular genérica de copolímeros de poliacrilato. En los últimos años han proliferado formulaciones de copolímeros polifuncionales con gran capacidad dispersantes y fluidificante. Una unidad molecular de este tipo de copolímeros con grupos vinílicos, se muestra en la Figura 3.3b.

Figura 3.3.  
Unidades moleculares de: a) Copolimero con grupos vinilo, b)  
Copolimeros de poliacrilato.



La acción dispersante de los aditivos superplastificantes está producida por la adsorción de las moléculas del aditivo en la superficie de los granos de cemento durante las reacciones de hidratación inicial. Sin embargo, no existe un conocimiento suficiente entorno a la naturaleza química de dicha adsorción, a la interacción electrostática y al impedimento estérico que se produce.

Los superplastificantes afectan a la hidratación del cemento Portland, ya que por una parte pueden retrasarla y por otra pueden afectar a la morfología y microestructura de los productos de reacción. De manera general, se asume que la influencia de los superplastificantes en la hidratación del cemento afecta a varios factores:

- Las moléculas de superplastificante impiden la difusión del agua y de los iones Ca<sup>2+</sup> en la interfase disolución-cemento.
- Los iones Ca<sup>2+</sup> forman complejos con las moléculas del superplastificante inhibiendo la nucleación y crecimiento de las especies ricas en Ca.
- La fuerte acción dispersiva de estos aditivos altera la cinética de formación y morfología de los productos de reacción.

Este efecto es variable dependiendo del tipo de aditivo superplastificante.

#### Efectos secundarios

- Posible aumento de retracción.
- Segregación con exceso de agua, sobredosificaciones o incorrecciones en la granulometría (muy sensibles a los finos).
- Generalmente incompatibles con los aditivos incorporadores de aire.

### Limitaciones y precauciones

- Posible pérdida de asentamiento, se anula el efecto fluidificante después de 30-60 minutos, acentuándose con la temperatura, la cantidad de cemento y un segundo amasado.
- Se modifica la capacidad según el tipo de cemento. No se debe utilizar con cementos aluminosos. Deben realizarse ensayos previos con los materiales que se utilizarán en la obra.
- En caso de utilizarse con otros aditivos, hay que comprobar compatibilidad.
- No introducen aire.

## **3.4.3 Polifuncionales.**

### **3.4.3.1 Introducción.**

Son aditivos de propiedades comunes entre los aditivos reductores de agua/plastificantes y los reductores de agua de alta actividad/superplastificantes.

### **3.4.3.2 Características.**

- Utilizables como plastificantes a bajas dosificaciones (cumplen como reductores de agua/plastificantes según UNE-EN 934-2).
- Utilizables como superplastificantes a dosificaciones elevadas (cumplen como reductores de agua de alta actividad/superplastificantes según UNE-EN 934-2).
- Amplia gama en función de los requisitos demandados (reducción de agua, tiempos de fraguado) y de los materiales empleados.
- Especialmente utilizados en hormigón preparado en central de hormigonera.
- Coste bajo-medio y la dosis varía en función del efecto deseado de 0.3 a 1.2%.
- No provocan intensos retrasos de fraguado ni oclusión de aire (según las condiciones).

### **3.4.3.3 Limitaciones.**

- Los efectos secundarios son los mismos que para los aditivos plastificantes pero se manifiestan en dosis superiores.
- Sobredosis: retraso de fraguado y oclusión de aire.





# **CAPITULO 4**

## **MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS.**



## 4.1. Introducción.

En este capítulo se va a tratar de exponer de una manera clara y precisa, tanto las propiedades de los materiales empleados, como las características de los equipos utilizados para conseguir el hormigón con las características finales deseadas. Debido a la existencia de una gran variedad de hormigón. Éste puede variar en su composición dependiendo de las condiciones ambientales y la aplicación o uso que se le vaya a dar a éste. En este caso para la realización del proyecto, el hormigón utilizado es *HA-25 / B / 20 / IIa*:

- HA-25: Hormigón armado de resistencia característica a 28 días de 25 MPa.
- B: Consistencia blanda (Asiento en cono de Abrams = 6-9 cm).
- 20: Tamaño máximo del árido = 20 mm.
- IIa: Clase general de exposición normal con humedad alta.

Máxima relación a/c = 0,6 y mínimo contenido de cemento = 275 Kg/m<sup>3</sup>.

## 4.2 Materiales utilizados.

A continuación se detallan todos los materiales utilizados, cemento, áridos, aditivo, agua y herramientas para la realización del proyecto.

### 4.2.1 Cemento.

El cemento utilizado (CEM II /A-L 42,5) generalmente es empleado en las centrales de hormigón preparado, en la fabricación de hormigones armados y en masa, cuando los requisitos mecánicos son elevados. También está muy extendido en la prefabricación cuando las resistencias iniciales y los ritmos de producción no son muy exigentes.

CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO (*UNE-EN 197-1:2000*).

COMPONENTES.

- Clinker: 80-94(%).
- Caliza: 6-20 (%).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

- Trióxido de azufre < 4 (%).
- Cloruros < 0,1 (%).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

- Inicio de fraguado ≥ 60 minutos.
- Expansion ≤ 10 mm.

#### RESISTENCIAS A COMPRESION.

- A 2 días mínimo:  $20 \text{ N/mm}^2$ .
- A 28 días mínimo:  $42,5 \text{ N/mm}^2$  - máximo:  $62,5 \text{ N/mm}^2$ .

Está especialmente indicado para:

- Hormigones proyectados.
- Reparaciones.
- Pavimentos de media/urgente utilización.
- Desencofrado o descimbrado rápidos.
- Hormigonado en tiempo frío.

Limitaciones:

Cuidar la dosificación, el amasado y el curado, especialmente en climas secos a elevadas temperaturas, con el fin de evitar la desecación rápida causante de la retracción.

### 4.2.2 Áridos.

Para la realización de este proyecto, se han utilizado los áridos recogidos de los diferentes acopios situados en la cantera de MLN en la localidad de Bárboles (Zaragoza). Estos acopios se diferencian según la granulometría del árido y sus propiedades, son materiales granulares inertes que no reaccionarán con el cemento ni con agentes medioambientales. De los cuales se han usado dos tipos de arena y dos de grava: arena fina lavada y triturada, y grava o áridos de tamaño medio 6-12 y grueso 12-22.

Se denomina grava o árido grueso a la fracción mayor de 4 mm y arena o árido fino a la menor de 4 mm. Los áridos se designan por su tamaño mínimo (d) y máximo (D) expresados en milímetros y para ello, se utiliza la expresión “árido d/D”. Los áridos usados en el hormigón cumplen con el marcado CE y con el art. 28 de la EHE08.

### 4.2.3 Agua.

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente dañino en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión. En general, podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Salvo estudios especiales se prohíbe expresamente el empleo de aguas de mar o salinas para el amasado o curado del hormigón armado o pretensado.

## 4.3 Equipo utilizado.

### 4.3.1 Báscula de precisión.

Se ha utilizado para el pesaje de todos los componentes del hormigón (arena, grava, cemento, agua y aditivos) una báscula de precisión Mettler PM30 (figura 4.1), la cual pesa un máximo de 30Kg con una precisión de 0,001Kg.

Figura 4.1.  
Báscula de precisión Mettler PM30.



### 4.3.2 Hormigonera.

Se trata de una hormigonera tradicional Torgar H200 (figura 4.2). con corona, tambor basculante ideal para mezclar y amasar el hormigón.

Principales características (tabla 4.1):

- Eje del tambor montado en rodamientos de engrase permanente.
- Volante de vuelco con pedal de seguridad.
- Posibilidad de accionamiento mediante motor eléctrico o de combustión.
- Cuba extra resistente, con borde reforzado y palas de amasado de alto rendimiento.
- Virolo de una pieza en fundición, con doble rodamiento estanco y engrase permanente.
- Chasis rígido de gran estabilidad, muy fácil de limpiar.
- Fabricada según la Directiva Europea de Máquinas 98 – 37 – CEE.

Tabla 4.1.  
Características hormigonera H-200.

CARACTERISTICAS	H-200
Capacidad útil de amasado (litros)	200
Capacidad de áridos sin mezclar (litros)	300
Potencia motor eléctrico (CV)	2
Potencia motor gasolina (CV)	2
Potencia motor diésel (CV)	3/6
Largo (mm)	1630
Ancho (mm)	1040
Alto (mm)	1550

Figura 4.2.  
Hormigonera Torqar H200.



### 4.3.3 Cono de Abrams.

El cono de Abrams (figura 4.3) es un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas ( $\varnothing$  base 20 cm,  $\varnothing$  superior 10 cm, altura 30 cm) el cual es utilizado para el llenado de tres capas de hormigón apisonadas con 25 golpes de varilla, la Norma establece el uso de una varilla normalizada con punta semiesférica para compactar el hormigón, ya que trabaja mejor. Inmediatamente se retira el molde para medir el asentamiento que experimenta la masa de hormigón colocada en su interior.

La medición se hace en el eje central del molde en su posición original. De esta manera, la medida del asiento permite determinar principalmente la fluidez y la forma de derrumbamiento para apreciar la consistencia del hormigón.

Figura 4.3 Cono de Abrams.



### 4.3.4 Probetas.

Son moldes cilíndricos, indeformables, no absorbentes, estancos y que no reaccionan con el cemento Portland, en nuestro caso, acero (figura 4.4). Cuyas dimensiones son  $\varnothing 15 \times 30$  cm y aproximadamente 5,3 litros de capacidad, cumpliendo con las tolerancias que fija la Norma UNE 83301:91.

Figura 4.4 Probetas.



### 4.3.5 Cámara húmeda.

Ésta cámara (figura 4.5) es el lugar donde se almacenan y conservan las probetas en unas condiciones especiales ( $T^a$   $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa igual o superior al 95%) para su curado una vez desmoldadas, hasta el momento del ensayo, cumpliendo con la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

Para que la cámara mantenga las condiciones requeridas, es necesario aportarle una cantidad diaria de agua, humedeciendo las paredes de la cámara y las probetas que están en el interior.

Figura 4.5.  
Cámara húmeda.



### 4.3.6 Termómetro de contacto.

Mini termómetro de contacto digital TESTO (figura 4.6), de inmersión o penetración, ideal para medir la temperatura ambiente y la de sustancias en polvo o líquidas.

Tiene un rango de medida de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+ 150^{\circ}\text{C}$ , con una precisión en temperaturas usadas de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Resolución de  $0.1^{\circ}\text{C}$ , con un tiempo de medida de un segundo.

Figura 4.6 termómetro digital.





### 4.3.7 Calentador de azufre y soporte para refrentar.

Se utiliza un recipiente de fusión para la preparación de azufre (figura 4.7 a) en forma líquida y para el refrentado de probetas. Está dotado con (tabla 4.2) equipo termostático para el control de la temperatura, interruptor de puesta en marcha y piloto luminoso. Realizado en doble pared con aislamiento térmico por aceite y sistema de calentamiento mediante resistencias blindadas de inmersión.

Tabla 4.2 Características del calentador de azufre Insotecnic S12.

CARACTERISTICAS	
MARCA Y MODELO	Insotecnic S12
CAPACIDAD DEL RECIPIENTE(litros)	12
CAPACIDAD DEL DEPÓSITO DE ACEITE (litros)	15
RESISTENCIA ELECTRICA (wattios)	2 x 1500
TERMOSTATO DE REGULACIÓN ( °C )	0-200
TERMOSTATO DE SEGURIDAD	Max 230
ALIMENTACIÓN	220-240 V Monofásico 50 Hz 3000W
DIMENSIONES (cm)	32x 34x 57.5

EL equipo para el refrentado de probetas cilíndricas de hormigón con mortero de azufre, está compuesto de un bastidor de acero mecanizado y un plato de refrentado sobre el que se dispone la probeta (figura 4.7 b).

La probeta apoya sobre una fina capa de azufre líquido que se endurece rápidamente para dejar las superficies planas y paralelas en las dos caras de la probeta, así como perpendiculares al eje del cilindro. Dejándolas aptas para su posterior ensayo a compresión.

Figura 4.7 A Insotecnic S12.



Figura 4.7 b Equipo de refrentado.



### 4.3.8 Máquina de ensayo a compresión.

Es una prensa de alta estabilidad utilizada para realizar los ensayos de cubos y cilindros a compresión. En nuestro caso, probetas de hormigón cilíndricas.

La máquina (figura 4.8) consta de un pistón controlado hidráulicamente y un dispositivo electrónico que permite introducir los diferentes ensayos, las medidas de las probetas, el gradiente de velocidad, etc. Dispone (tabla 4.3) de una ruleta con doble función, por un lado, permite aproximar rápidamente el pistón para evitar tiempos muertos, y por otro, permite nivelar el plato superior. Cuando la máquina detecta la rotura de la probeta, se para automáticamente y muestra los resultados en la pantalla. Esta máquina tiene la capacidad de ejercer hasta 3000 KN.

Tabla 4.3.  
Características de la Máquina de Ensayo a compresión.

CARACTERISTICAS	
MARCA Y MODELO	Matest C089-8
DISTANCIA MAXIMA ENTRE PLATOS (mm)	336
DIAMETRO ESPESOR (mm)	287/60
RECORRIDO DEL PISTON (mm)	60
PESO(Kg)	1070
ALIMENTACION	220-240 V Monofásico 50 Hz 750W
DIMENSIONES (mm)	750 x 450 x 1500
CLASE DE PRECISION	CLASE I

Figura 4.8.  
Máquina de ensayo a compresión.



### 4.3.9 Horno.

Para calcular la humedad del árido, utilizamos una estufa de convección natural para desecación, de la marca Digitheat 2001245 (figura 4.9), cuyas características son las siguientes (tabla 4.4):

*Tabla 4.4.*  
*Características del horno Digithea.*

CAPACIDAD (l)	150
Ta. MAX (°C)	250
HOMOGENEIDAD	±2%
ESTABILIDAD (°C)	±0,25
ERROR DE CONSIGNA	±2%
RESOLUCION (°C)	1
MEDIDAS INTERIORES (cm)	Alto, ancho, fondo (50, 60, 68)
MEDIDAS EXTERIORES (cm)	Alto, ancho, fondo (70, 95, 70)
CONSUMO (W)	2000
PESO (Kg)	68

*Figura 4.9.*  
*Horno Digithea.*





# **CAPITULO 5**

## **ENSAYOS Y RESULTADOS.**



## 5.1. Ensayo granulométrico.

### 5.1.1 Caracterización del árido.

La aptitud de un árido como material de construcción depende de las propiedades físicas y químicas de sus partículas, por lo que es necesario establecer procedimientos normalizados de ensayo para su normalización.

Los ensayos de laboratorio se inician con la caracterización de los áridos para lo cual se siguen los siguientes pasos:

- Los áridos se recogen directamente de la cantera de Mariano López Navarro por lo que no era necesario realizar una criba para separar los diferentes tamaños de grano.
- A continuación se determina el *agua retenida por cada uno de los áridos*, siendo la más significativa la cantidad de agua retenida por la arena.
- Puesto que el agua absorbida por los áridos no presenta valores muy influyentes para el proceso de hidratación del cemento tomamos valores del 1% de humedad.
- Respecto a la arena tomamos una muestra aproximada de un kilogramo y la introducimos al horno para saber la cantidad de agua retenida, y poder introducirla en la dosificación, en función de las resistencias y los metros cúbicos de hormigón a fabricar.
- Se deja en el horno a una temperatura constante de 110 °C hasta que el agua se evapore, teniendo que remover de vez en cuando para evitar la formación de costras en la parte superior que no favorecen a la evaporación.
- Evaporada el agua se procede a retirar la arena del horno utilizando guantes para evitar posibles quemaduras, una vez se ha enfriado un poco la volvemos a pesar, y la diferencia con el peso inicial representa el agua retenida por la arena.
- La cantidad de agua retenida se expresa con el correspondiente porcentaje en peso de agua respecto al árido seco. (Agua retenida/arena seca = % de agua retenida).

### 5.1.2 Determinación de la granulometría del árido.

La granulometría es el ensayo más corriente y uno de los más importantes que se realizan a un árido; y representa la distribución de los tamaños de árido que posee el árido.

La distribución de los distintos tamaños de los granos que componen un árido tiene una importancia decisiva en las características del hormigón. El estudio de dicha distribución suele efectuarse mediante la *curva granulométrica*, que se determina cribando el árido a través de una serie normalizada de cribas y tamices.

Las cribas y tamices empleados corresponden a la norma *UNE-EN 933-1/A1:2006* que es propia para el ensayo de granulometría de las partículas mediante el método del tamizado.

El juego de tamices de ensayo está provisto con tapa y fondo hermético y deben de estar limpios y secos. Sus aberturas están en progresión descendente cuyos valores milimétricos vienen dados en la *Tabla 5.1*.

*Tabla 5.1 Serie de tamices norma UNE (mm).*

90	80	63	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
----	----	----	----	----	---	---	---	---	-----	------	-------	-------

El ensayo tiene como objeto determinar la granulometría de los áridos de hasta 90 mm mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente, el método se aplica a áridos de origen natural o artificial, incluidos áridos ligeros, con una dimensión nominal de hasta 90 mm, excluyendo los fillers.

Las etapas a considerar en el ensayo son las siguientes:

- Selección de la cantidad mínima de muestra de árido necesaria:

La masa mínima seca de la muestra de ensayo, reducida según UNE-EN 932-2:1999 se obtendrá de la siguiente tabla para áridos de densidades entre 2 t/m<sup>3</sup> y 3t/ m<sup>3</sup> (Tabla 5.2).

Para áridos de densidades distintas a las indicadas deberá aplicarse a la masa mínima un factor corrector basado en la relación de las densidades. Para áridos de otros tamaños, la masa mínima de la muestra puede obtenerse por interpolación de las masas de la tabla. Se debe tomar una masa mínima superior en un 5-10 % a la indicada en la tabla para que la masa seca mínima sea al menos la de ésta. Esta masa se registra como M1 (Masa seca total).

*Tabla 5.2 Cantidad mínima de árido necesaria.*

<b>Tamaño máximo D (mm)</b>	90	63	32	16	8	≤ 4
<b>Masa mínima seca de muestra en (kg)</b>	80	40	10	2,6	0,6	0,2



- Lavado:

Cuando el lavado puede alterar las propiedades físicas del árido se deberá hacer el tamizado por vía seca, de lo contrario, aun no siendo necesario, nos permite una mayor precisión en los resultados obtenidos eliminando previamente los finos.

- Determinación de la masa seca de la muestra lavada de árido:

La determinación de la masa de árido pasado por el tamiz de 0,0063 mm se efectúa por diferencia de pesadas entre la masa inicial seca total y la masa de árido una vez lavado y secado a una temperatura de 100 °C hasta obtener masa constante.

- Tamizado:

El material lavado y secado (o directamente proveniente de la muestra seca) se vierte en el juego de tamices previamente ensamblados y dispuestos, de arriba abajo, en orden decreciente de tamaños de abertura con el fondo y la tapa (figura 5.1). Es necesario aplicar un tamiz de 0,063 mm, ya que el proceso de lavado no elimina todos los finos.

Posteriormente se aplica un movimiento de planetario sobre la columna en la tamizadora o, en caso contrario de forma manual. El tamizado siempre debe de finalizarse manualmente, dándose por terminado cuando la masa de árido retenida en cada tamiz no varía más de un 1% en un minuto de tamizado manual.

Cabe destacar que el número de tamices a emplear viene definido por el tamaño máximo del árido (D), empleando siempre la columna de tamices de abertura inferior hasta el de 0,063mm.

Figura 5.1 Tamices.



- Pesaje de las fracciones obtenidas:

Se pesa el material retenido en el tamiz de mayor tamaño de abertura y continuamos en orden decreciente hasta llegar al tamiz de 0,063mm registrando las masas de las diferentes fracciones del material retenido. También deberemos pesar el material tamizado que quede en la bandeja del fondo.

- Resultados:

Una vez pesadas las fracciones retenidas en los diferentes tamices las sumaremos todas teniendo en cuenta también lo contenido en la bandeja del fondo. Comprobaremos que la masa total no difiera de manera muy elevada de la masa inicialmente introducida en los tamices, sino deberíamos repetir el ensayo.

La granulometría se expresa como el porcentaje acumulado que pasa, en el que se indica como primer el del menor tamiz por el que pasa el 100% del árido, y como último resultado, el del primer tamiz en el que pasa el 0%.

La granulometría del árido que utilizamos para la elaboración de este proyecto se cita a continuación (tabla 5.3).

Tabla 5.3 Granulometría.

Tamiz UNE (mm)	4	2	1	0,5	0,25	0.125	0,063
% que pasa	97,7	80,3	67,5	52,3	28,6	8,1	2,2

La curva granulométrica es la representación grafica de la granulometría. Se obtiene una visión de la distribución de tamaños de los granos del árido. Sirve también para comparar visualmente diferentes materiales entre sí, y para comparar un material con los límites recomendados por la norma o especificación.

## 5.2 Ensayo del hormigón fresco.

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse. Existen varios procedimientos para determinar esta propiedad, siendo los más conocidos el cono de Abrams, la mesa de sacudidas y el consistómetro Vebe. En la realización de este proyecto la medición de la consistencia se realizó mediante el cono de Abrams, el cual se describe a continuación.

### 5.2.1 Ensayo de consistencia del hormigón. Cono de Abrams.

Se describe a continuación el procedimiento proporcionado por las normas EN 206, UNE 83300 e ISO 2736, para la correcta toma de muestras para cualquier ensayo sobre hormigón fresco.

- Los ensayos de consistencia deben efectuarse inmediatamente después de la toma de muestras y estar terminados antes de que transcurran 15 minutos.
- Las muestras deben ser lo más representativas posibles del hormigón objeto de control (el volumen de la muestra debe ser, al menos, 1.25 a 1.5 veces el volumen de las probetas).
- Cuando se trate de hormigoneras fijas o camiones hormigonera, la muestra debe obtenerse pasando al recipiente de recogida a través de toda la corriente de descarga, cuidando que la velocidad de descarga no sea demasiado lenta y se produzca segregación.
- Las muestras se tomarán cuando se esté entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{3}{4}$  de la descarga, para conseguir una muestra más representativa y uniforme. Cuando por la maquinaria empleada no sea posible tomar la muestra durante la descarga, se tomara como muestra cinco porciones al azar del vertido ya completo del hormigón.
- La muestra debe estar protegida de sol, viento y lluvia, debiendo evitar así su desecación.

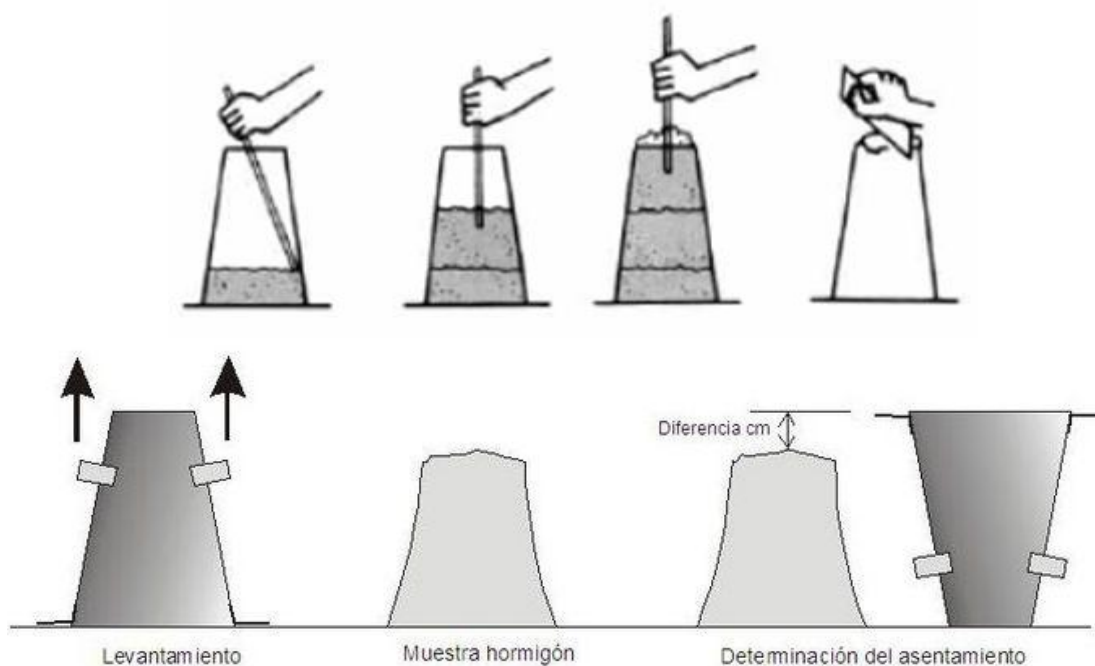
Este método de ensayo se describe en la norma UNE 83313/87, que se corresponde con la ASTM C-143-69.

#### Ejecución del ensayo:

- Se utiliza un molde sin fondo de forma troncocónica, provisto de dos asas para su manipulación, con las siguientes dimensiones interiores: Diámetro de la base superior de  $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , diámetro de la base inferior de  $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , altura del tronco del cono de  $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ .
- Se coloca el molde sobre una superficie plana, rígida y que no absorba agua. Se humedece el interior del molde y la superficie de apoyo. Se introduce el hormigón en tres capas de alturas sensiblemente iguales, picando uniformemente cada capa 25 veces, con una barra metálica de 16 mm de diámetro y 60 cm de longitud. Se enrasa la superficie con ayuda de una llana.

- Se desmolda inmediatamente, levantando el cono despacio y con cuidado en dirección vertical sin producir sacudidas. Se mide el asiento por referencia a una regla horizontal colocada sobre el cono, tomando como nivel el punto más alto del hormigón de la masa asentada. El asiento se expresa por la medida obtenida, redondeada en centímetros (figura 5.2).
- Este ensayo no es aplicable a hormigones elaborados con áridos mayores de 40 mm.
- Si el asiento es igual o inferior a 1 cm., el ensayo es muy poco significativo.

Figura 5.2 Ensayo de consistencia.



Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos, fluidos y líquidos. La consistencia líquida no es admisible para hormigón armado.

A continuación se muestra una tabla (Tabla 5.4), de la instrucción EHE, con los valores de asiento y su correspondiente denominación de la consistencia según los cm. de asiento del cono.

*Tabla 5.4 Consistencia de los hormigones*

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)
Seca (S)	0 a 2
Plástica (P)	3 a 5
Blanda (B)	6 a 9
Fluida (F)	10 a 15
Líquida (L)	≥16

## 5.3 Ensayo en el hormigón endurecido.

A continuación, se describe todo el proceso de vida que tiene una probeta, desde que se hace el ensayo de consistencia y se da por válido, hasta la realización de el ensayo de hormigón endurecido, que en este caso será el ensayo a compresión, para poder saber la resistencia de la probeta y poder sacar conclusiones sobre cómo trabajan los aditivos utilizados.

### 5.3.1 Realización de las probetas.

Una vez realizados los ensayos con el hormigón fresco, se procede al llenado de las probetas, las cuales deben cumplir una serie de características dimensionales, que deben estar normalizadas, para que el ensayo sea aceptado. Para la realización de las mismas este proyecto está basado en las normas EN 206, UNE 83301 e ISO 2736.

Para la realización de las probetas son necesarios los siguientes utensilios:

#### Probetas:

La forma y dimensiones de las probetas de ensayo, deben ser las siguientes (tabla 5.5):

- Cubos de arista =  $a$ .
- Cilindros de diámetro =  $a$  y altura =  $2a$ .
- Prismas de arista =  $a$  y longitud =  $4a$  o  $5a$ .

Para las probetas cúbicas y prismáticas el valor de “ $a$ ” ha de ser tres veces el tamaño máximo del árido y para las cilíndricas  $a = 15$  cm. En este proyecto tal y como marca el artículo 30.3 de la instrucción EHE, hemos utilizado una serie de probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro (figura 5.3), la cual es referencia en España para la realización del ensayo a compresión.

Figura 5.3 Probetas cilíndricas



Tabla 5.5 Moldes Normalizados.

<b>Molde</b>	<b>Dimensión (a)</b>	<b>Nº de capas de llenado para su vibrado</b>
Cúbico	100 mm	2
Cúbico	150 mm	2
Cúbico	200 mm	2
Prismático	150 x 150 x 530 mm	3
Prismático	150 x 150 x 600 mm	3
Cilíndrico	100 mm	3
Cilíndrico	150 mm	3

- Los moldes deben ser de metal u otro material resistente que no reaccione con el hormigón, estancos a la lechada, de superficies interiores lisas y planas, libres de hendiduras o resaltes.
- Las tolerancias admisibles en la tolerancia de las probetas, según UNE 83301:91, son  $\pm 1\%$  y  $\pm 2\%$  para la sección y la altura respectivamente.
- Es imprescindible untar los moldes con algún tipo de aceite mineral u otro material que actúe como desmoldante, evitando la adherencia del hormigón a las paredes del molde.
- Antes de verter el hormigón en los moldes, hay que asegurarse de que están perfectamente limpios, y que estén bien cerrados para que no se escape la lechada por ningún recoveco.

### Barra de picado:

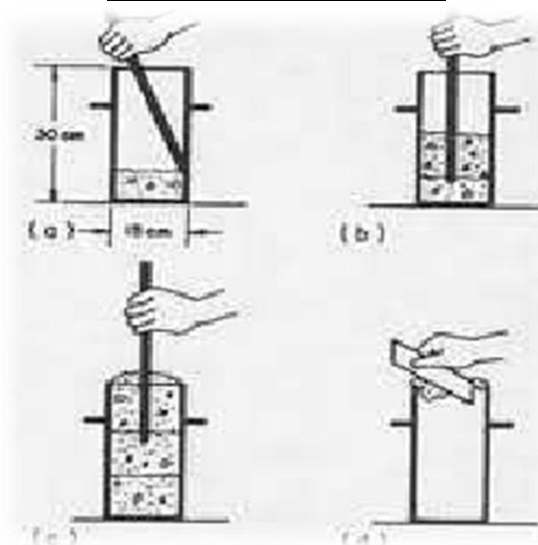
La barra de picado debe ser rectilínea, de acero, de 16 mm de diámetro y longitud de 60 cm. En sus 25 mm finales será troncocónica y estará rematada en su extremo por un casquete esférico de 6 mm de radio.

#### **5.3.1.1 Ejecución de las probetas.**

A continuación se explica el método para la realización de las probetas, únicamente en caso de probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura que son las utilizadas en el proyecto.

- Compactación: Existen dos tipos de compactación. La *compactación por vibrado* se utiliza para hormigones cuyo asiento en el cono de Abrams sea menor de 4 cm. La *compactación por picado* (figura 5.4) se utiliza para aquello cuyo cono de Abrams sea mayor o igual a 4 cm. Para este proyecto se ha usado este último. La confección de las probetas se efectúa colocando el hormigón en tres capas de igual espesor, en las que su compactación se lleva a cabo picando con una barra metálica, a razón de 25 golpes distribuidos uniformemente. En cada golpe la barra debe penetrar ligeramente en la capa subyacente.

Figura 5.4.  
Compactación por picado.



- Acabado de la probeta: Una vez compactado el hormigón en la probeta, ésta debe ser convenientemente enrasada con pasta de cemento. Se aplica sobre la cara superior de la probeta, de tal forma que no aparezcan irregularidades superiores a 2,5 mm y que no se rebase la tolerancia de perpendicularidad de la base respecto al eje, la cual es de 1,5° (figura 5.5). Más tarde, una vez curada la probeta, será necesario refrentar esa cara de la probeta para obtener una superficie de mayor regularidad para su ensayo a compresión.

Figura 5.5.  
Enrasado de la probeta.



### **5.3.2 Conservación y curado de las probetas.**

Una vez se tienen los moldes llenos, se ha de seguir lo que estipulan las normas UNE 83301 e ISO 2736 para una correcta conservación de las probetas.

El hormigón debe permanecer en las probetas antes de su desmoldado por lo menos 24 horas, conservándose a una temperatura entre 16 y 27 C.

Nada mas desmoldar las probetas, se deben meter inmediatamente en la cámara húmeda para un correcto curado (figura 5.6). Dicha cámara debe mantener una humedad relativa del 95% y una temperatura de  $20\text{ C} \pm 2\text{ C}$ . Esta cámara húmeda puede sustituirse por una balsa de inmersión con unas condiciones de pH y temperatura normalizadas. Las probetas se mantienen de esta forma hasta el momento de la rotura.

Figura 5.6. Probetas  
introducidas en la cámara húmeda.



Cuando se trata de determinar la resistencia real u otras cualidades del hormigón en obra, las probetas deben conservarse en unas condiciones tan próximas como sea posible a las de la estructura objeto del ensayo.



### 5.3.3 Ensayo de compresión.

A continuación se exponen las directrices básicas y los pasos a seguir para la realización del ensayo de compresión, el primer paso es conseguir un perfecto acabado superficial en la cara del hormigón que se quedaba al aire en el molde, para así evitar irregularidades que actúen como concentradores de tensiones y produzcan un valor erróneo en la resistencia.

#### 5.3.3.1 Acabado superficial.

Según el anexo A, de la norma UNE EN 12390-3, para un correcto acabado superficial se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- Antes de refrentar, nos debemos asegurar de que las superficies de carga deben estar completamente secas, limpias, libres de partículas sueltas y perfectamente perpendiculares a la directriz de la probeta.
- La capa de refrentado debe ser tan fina como sea posible y debe estar entre 3 y 8 mm. de espesor.
- Las caras planas de carga de las probetas con imperfecciones superiores de 0.05mm. deben de ser enlucidas o refrentadas de modo que presenten una superficie normal al eje, con una tolerancia de 0.5°.
- El azufre debe ser calentado a la temperatura recomendada por el fabricante, en este caso 130°C.
- Una vez tenemos el azufre líquido, se vierte un poco sobre el plato de refrentado. Se debe apoyar la cara a refrentar con sumo cuidado y asegurando la verticalidad de la probeta hasta apoyar en el plato (figura 5.7).
- Después se inspecciona la probeta para asegurar que el material de refrentado se ha adherido perfectamente. Si al golpear suavemente la capa de refrentado con el suena a hueco, debe eliminarse con una espátula y refrentarse de nuevo.
- El ensayo de compresión no debe realizarse hasta por lo menos 30 minutos después al refrentado.

En nuestro caso se han refrentado las probetas con azufre líquido, que al endurecer en contacto con la cara a refrentar de la probeta, se queda pegado al hormigón y se asegura una superficie plana normal al eje. Presenta una superficie perfecta, libre de imperfecciones (figura 5.8). Para calentar el azufre hemos empleado un calentador de azufre termostático.

Figura 5.7 Proceso de refrentado.



Figura 5.8 Probeta refrentada.



Una vez se ha refrentado, se procede a realizar el ensayo de compresión.

#### **5.3.3.2 Método de ensayo a compresión.**

A continuación, se dan las directrices básicas seguidas para la realización del ensayo a compresión, el cual está regulado por la norma UNE EN 12390-3:

- Una vez iniciada y preparada la prensa, hay que limpiar tanto las superficies de carga de los dos platos como las caras de la probeta, para que no haya impurezas.
- Se centra primero la probeta sobre el plato inferior, siguiendo unas marcas circulares marcadas en el plato, y posteriormente se lleva el plato superior hasta que quede en contacto con la parte superior de la probeta, a fin de asegurar un contacto uniforme (figura 5.9).

Figura 5.9  
Colocación de la probeta a refrentar.



- Una vez esta la probeta bien colocada, se aplica la carga de manera continua y sin saltos, a una velocidad constante tal, que el incremento de la carga por segundo produzca un aumento de la tensión  $0.5 \pm 0.2$  N/mm<sup>2</sup>.
- No debe introducirse ninguna corrección a los mandos de la máquina de ensayo, cuando la probeta se deforma rápidamente, momentos antes de la rotura.
- Se continua el ensayo hasta la rotura (figura5.10), momento en el cual la maquina se para automáticamente y aparece en la pantalla la tensión de rotura en MPa y KN.

Figura 5.10.  
Probeta sometida al ensayo de compresión.



## 5.4 Ensayos experimentales.

### 5.4.1 Introducción.

A continuación se describen y exponen los resultados obtenidos de la experimentación llevada a cabo para la realización del proyecto, cuya finalidad es encontrar que dupla de aditivos, superplastificante y polifuncional, se adaptan mejor a las condiciones de uso y prestaciones requeridas por el hormigón demandado.

El desarrollo del proyecto ha sido el siguiente; a partir de unas dosificaciones proporcionadas por la empresa Mariano López Navarro (MLN), se modifican, tanto las cantidades de cemento como las de aditivo, manteniendo siempre una de ellas constante. Y de esta manera, poder ver la influencia de éstos en el comportamiento del hormigón, teniendo en cuenta tanto la resistencia obtenida, como su trabajabilidad.

En éste proyecto se van a utilizar tres grupos de aditivos de empresas diferentes, a estos grupos les llamaremos respectivamente, A, B y C. Cada aditivo comercial consta de una dupla de aditivos: un superplastificantes, nos referiremos a él con el subíndice "s" y un polifuncional "p".

Estas empresas, en las especificaciones de sus respectivos aditivos, incluyen las mismas características, típicas de superplastificantes.

### 5.4.2 Desarrollo del proyecto.

La finalidad del proyecto es hacer hormigón *HA-25 / B / 20 / IIa*, objeto de estudio, con cemento normal AL, con una resistencia de unos 25Mpa y que tenga una buena trabajabilidad además de un cono Abrams blando de 6-9 cm ( $\pm 1$ ).

Las propiedades del hormigón dependen de multitud de factores, principalmente de sus componentes, por lo tanto, cabe destacar la importancia de especificar el origen y dosificación de cada uno de ellos.

- Los áridos utilizados en este proyecto han sido recogidos directamente de los diferentes acopios la cantera de la empresa Mariano López Navarro (MLN). Para fabricar el hormigón citado anteriormente, se han utilizado cuatro tipos de árido:
  1. Árido fino (0-4 mm) lavado.
  2. Árido fino (0-4 mm) triturado.
  3. Árido grueso (6-12 mm) lavado.
  4. Árido grueso (12-20 mm) lavado.

- El cemento que se ha usado es del tipo CEMII/A-L-42.5R.
- El aditivo ha sido proporcionado por tres empresas líderes del sector, estos aditivos están en fase de desarrollo y experimentación.
- El agua se ha recogido directamente de la instalación de agua del recinto de la empresa Mariano López Navarro (MLN).

Para determinar la humedad de cada uno de los áridos, siendo la más significativa, la cantidad de agua retenida por la arena, se toma una muestra que primeramente es pesada, y posteriormente es introducida en el horno con el fin de quitarle toda la humedad y volver a ser pesada. De esta forma se puede calcular el % de agua retenida. Por lo tanto, según el resultado obtenido, se modifica la dosificación para mantener en todo momento la relación agua/cemento, ya que ésta característica del hormigón influye directamente en su resistencia final. La relación agua/cemento debe ser tan baja como sea posible teniendo en cuenta que el hormigón debe cumplir unos requisitos de trabajabilidad.

Como se acaba de mencionar, es en la arena donde más significativa es la humedad, los áridos restantes también presentan cierta humedad, que no suele presentar variaciones, por lo tanto, durante todo el proyecto se ha adoptado un valor constante de humedad de dichos áridos de un 1%.

A lo largo del proyecto se ha variado la dosificación, tanto de los aditivos, como del cemento, los áridos son siempre los mismos, las mismas granulometrías y la humedad ha sido calculada para tener siempre la misma relación agua/cemento. De esta manera se estudia la influencia de la dosis del aditivo y del cemento en el hormigón.

Una vez pesado todos los materiales mediante una balanza de precisión se procede a la fabricación del hormigón.

### 5.4.3 Fabricación del hormigón.

La metodología consiste en la fabricación de masadas de 50 litros en una hormigonera convencional (Figura 5.11), como las usadas en las obras para simular condiciones lo más reales posibles.

A la hora de introducir los materiales se siguió este orden:

- Se introducen los áridos en orden decreciente de tamaño, empezando por el árido 12/20 y terminando por la arena.
- Se añade el cemento a la mezcla.
- Por último se añade el agua junto al aditivo con el objetivo de conseguir una mezcla más homogénea.

*Figura 5.11.*  
*Hormigonera convencional.*



Pasados 2 ó 3 minutos de añadir el agua con el aditivo la mezcla del hormigón ya se ha homogenizado, este hecho puede observarse a simple vista, ya que se ve un hormigón trabajable y de un brillo característico.

Se vuelca parte de la masada en la carretilla y se realiza el ensayo de consistencia mediante el método del Cono de Abrams.

#### 5.4.4 Ensayo de consistencia del hormigón.

La consistencia del hormigón es la facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse, por lo tanto, lo que se ha intentado ver con este ensayo es la pérdida de trabajabilidad al aumentar, tanto la dosificación de aditivo como la de cemento.

Realmente la consistencia varía con multitud de factores que para este proyecto han sido siempre constantes: el tamaño máximo del árido, la granulometría, la temperatura (aunque ha variado ligeramente y más tarde indicaremos en que influye) o la forma de los áridos.

Existen varios procedimientos para determinar la consistencia, en este caso se ha utilizado el cono de Abrams (*figura 5.12*), de acuerdo con la norma UNE 83313:90.

Figura 5.12.  
Cono de Abrams.



Es un molde troncocónico de 30 centímetros de altura que se rellena con el hormigón objeto de ensayo. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca una vez desmoldada, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

Para este ensayo se han recogido los valores de consistencia en distintos momentos del amasado: 5 mins, 15 mins, 25 mins, 40 mins. Como ya veremos más adelante, no se ha realizado este ensayo para todos los grupos de hormigón.

#### 5.4.5 Realización de las probetas.

Una vez que el hormigón ha permanecido 40 minutos, como norma general, se realizan las probetas cilíndricas (*figura 5.13*) de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Antes de llevar a cabo las probetas, es necesario comprobar que los moldes están limpios y con una capa de líquido desencofrante en su interior para facilitar un correcto desmolde a la hora de sacar las probetas.



Figura 5.13.  
Rodillo y liquido desencofrante.



De cada amasada de 50 litros se han obtenido cuatro probetas (figura 5.14).

Figura 5.14.  
Probetas con líquido desencofrante.      Probetas obtenidas.



Pasadas 24 horas, las probetas se desmoldan y son introducidas en una cámara húmeda (*Norma UNE 83301:91*), con unas condiciones óptimas de conservación, una temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $>90\%$  de humedad relativa, hasta el momento del ensayo. (figura5.15).

Figura5.15.  
Indicador de la humedad relativa de la cámara.





Para este proyecto se han realizado cuatro probetas por dosificación para realizar el ensayo a compresión, dos a 7 días y dos a 28 días. Además, para asegurar la repetibilidad de los resultados se han repetido 3 veces cada una de las dosificaciones para obtener seis datos de resistencia de cada prueba.

### 5.4.6 Ensayo de compresión.

El ensayo a compresión (Figura 5.16) se realizó a 7 y a 28 días con el fin de observar los diferentes valores de resistencia en función del tiempo de curado del hormigón según el método de ensayo indicado en la norma *UNE 83304:84*.

De cada familia de ensayo, dos probetas se rompieron a 7 días y otras dos a 28 días. Se realizaron la media de la resistencia obtenida y de esta manera se ha comprobado si cumplen los requisitos del hormigón, cuya resistencia en obra debe ser  $\geq 25$  MPa.

La resistencia característica que se consigue en obra es menor que la resistencia media obtenida en ensayos de laboratorio, por lo tanto, posteriormente se analizará si los resultados obtenidos cumplen los requisitos de resistencia.

Posteriormente se realizaron tablas con los valores medios obtenidos por cada familia de ensayo, con estos datos se elaboraron gráficos los cuales ayudan a una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

Figura 5.16.  
Maquina de ensayo a compresion



## 5.5 Resultados.

Ahora se procede a mostrar los resultados obtenidos para cada dosificación proporcionada a través de MLN por la marca comercial, con su respectiva dupla de aditivos (polifuncional y superplastificante), a continuación se muestran tablas, en las cuales se indica la relación agua cemento (a/c), el cono de Abrams y las medias de las resistencias obtenidas a compresión a 7 y 28 días, comparativas entre resistencias de diferentes dosificaciones, así como en algún caso concreto la consistencia de la masada como se ha comentado antes y alguna condición especial como un aumento de temperatura significativo.

Para el cálculo de las resistencias medias se ha tenido en cuenta la dispersión de los dos valores obtenidos para cada muestra, ya que hay valores no representativos. Para garantizar los resultados se ha seguido lo indicado en el Anejo 19 de la EHE 08 “Niveles de garantía y requisitos para el reconocimiento oficial de los distintivos de calidad” de la “Instrucción de hormigón estructural” (tabla 5.6). En tal documento se menciona que: “Las resistencias obtenidas presentan una dispersión acotada, de forma que en cada caso los valores de la desviación típica  $\sigma$  de la población y de su coeficiente de variación  $\delta$  sean simultáneamente inferiores a unos valores, ya calculados, en función de la resistencia característica del hormigón”.

Tabla 5.6.

Niveles de garantía y requisitos para el reconocimiento de los distintivos de calidad.

Resistencia especificada para el hormigón, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Desviación típica de la población $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	Coeficiente de variación de la población $\delta$
25	3,6	0,110

En primer lugar se va a realizar el estudio con la dupla de aditivos, uno superplastificante (As) y otro polifuncional (Ap) de la marca “A”.

### 5.5.1 ADITIVOS MARCA “A”.

Patrón:

A continuación se indica en una tabla (tabla 5.7) las resistencias, y consistencias finales del patrón de dosificación proporcionado por la marca comercial que nos ofrece MLN para trabajar sobre él:

Tabla 5.7 Resistencias (MPa) patrón.

CONO (cm)	R (7 días)	R (28 días)
7	33,95	41,15
9	32,35	38,05
9	33,3	40

Las resistencias patrón medias obtenidas son: a 7 días es de 33,2 MPa, y a 28 días es de 39,73 MPa. Son resistencias muy elevadas, casi el doble de las prestaciones necesarias para la realización del proyecto, intentaremos reducir los costes de diferentes maneras, alterando diferentes componentes siempre que el cono de Abrams final este dentro del rango de conos blandos, obteniendo así uno hormigón trabajable y homogéneo.

#### Dosificación 1:

En esta primera dosificación, se varía únicamente la cantidad de cemento, se disminuye, disminuyendo así el coste de la operación y manteniendo constante la relación agua/cemento, los aditivos ( $A_p$  y  $A_s$ ) y la cantidad de árido utilizado en la dosificación anterior.

Al bajar la cantidad de cemento y aumentar la relación agua/cemento de la dosificación patrón (0,55) se ha disminuido levemente las resistencias, aún así, los resultados obtenidos (tabla 5.8) no son muy significativos, ya que:

- Las consistencias obtenidas en el cono de Abrams son menores que en las del patrón, son consistencias denominadas plásticas, y se busca consistencias blandas.
- Las resistencias obtenidas son bastante altas, parecidas a las del patrón, pese a haber bajado la cantidad de cemento, esta disminución de resistencias implicaría un cono de Abrams mayor y un hormigón mas trabajable.
- La resistencia obtenida con un cono 3 es menor que la resistencia obtenida con un cono 5, estos resultados pueden ser debido a diversos factores como el tamaño de la arena, la temperatura...

Tabla 5.8.

Consistencias y resistencias (MPa) obtenidas.

CONO (cm)	A/C	R (7 días)	R (28 días)
3	0,588	34,93	38,935
4,5	0,638	33,06	35,44
5	0,628	30,67	40,25

#### Dosificación2:

Para esta dosificación hemos decidido mantener constante la cantidad de cemento de la dosificación anterior, y aumentar el porcentaje de aditivo superplastificante ( $A_s$ ) manteniendo constante el polifuncional ( $A_p$ ), así como las cantidades de árido y la relación agua/cemento. Los resultados se exponen en la tabla siguiente (tabla 5.9).

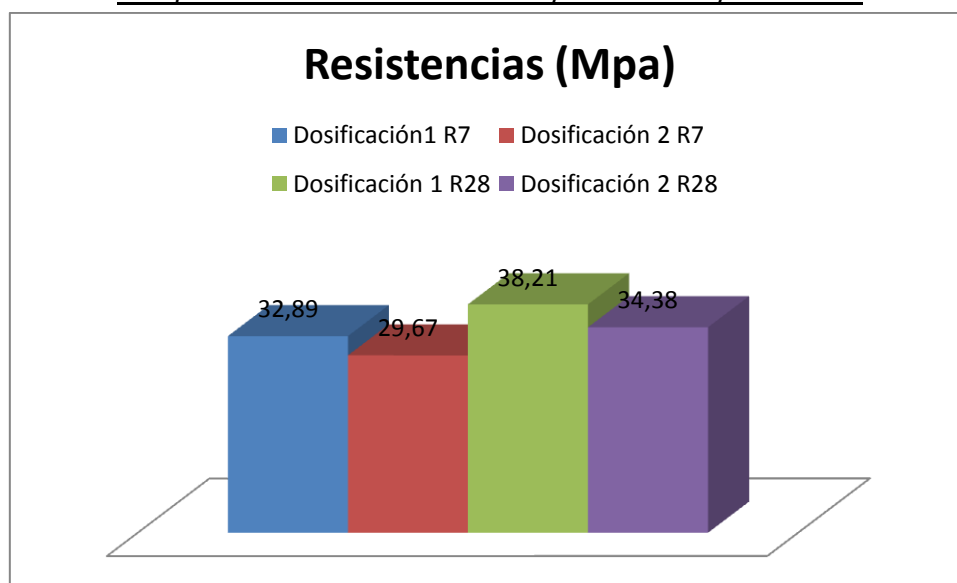
**Tabla 5.9.**  
**Consistencias y resistencias (MPa) obtenidas.**

CONO (cm)	A/C	R (7 días)	R (28 días)
5,5	0,549	30,55	35,51
6	0,666	29,85	34,1
6	0,628	28,63	33,53

Al aumentar el aditivo superplastificante (As), las consistencias obtenidas han mejorado sensiblemente (sin variar prácticamente la relación a/c) con respecto a la dosificación anterior. Pero si la comparamos con la dosificación patrón, aún aumentando el aditivo polifuncional, las resistencias obtenidas son menores, pese a obtener unas consistencias más bajas. Esto también puede ser debido a la disminución de la cantidad de cemento.

A continuación se muestra una gráfica (figuras 5.17), que ofrece una comparativa de las resistencias a 7 y 28 días de la dosificación 1 y 2.

**Figura 5.17.**  
**Comparativa de resistencias de diferentes dosificaciones..**



### Dosificación 3:

En esta tercera dosificación, es una repetición de la primera, es decir, variando únicamente la cantidad de cemento y manteniendo constante la relación agua/cemento, aditivos y cantidad de árido utilizado en la dosificación inicial.

Una vez que ha empezado a reaccionar los aditivos, en vistas a lo ocurrido en las primeras dosificaciones, se aumentó la relación agua/cemento, añadiendo agua mientras se amasaba. Este método es habitual en las obras, aunque incorrecto, con el

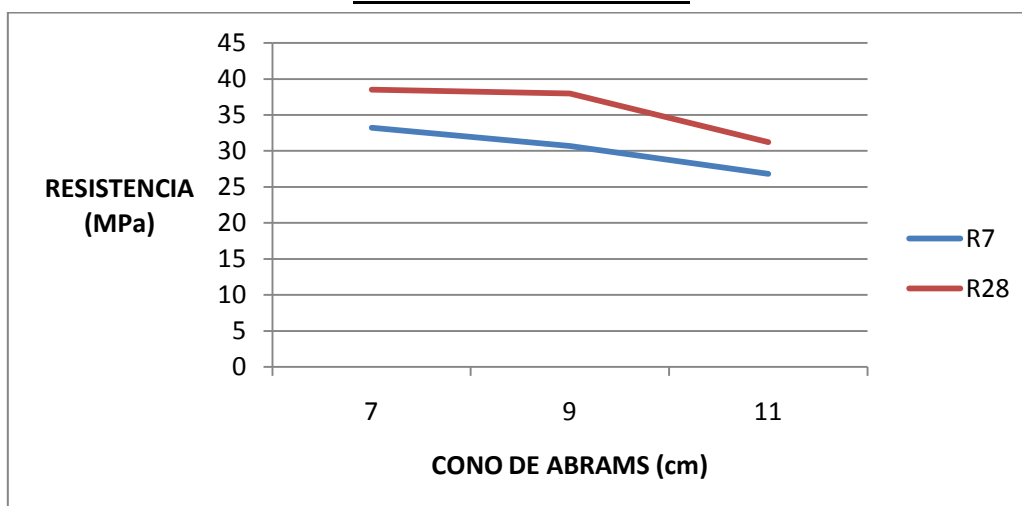
fin de mejorar la trabajabilidad del hormigón, a sabiendas de la disminución de la resistencia. Los resultados se exponen en la tabla siguiente (tabla 5.10).

**Tabla 5.10.**  
**Consistencias y resistencias (MPa) obtenidas.**

CONO (cm)	A/C	R (7 días)	R (28 días)
7	0,6346	33,2	38,5
9	0,642	30,7	38
11	0,671	26,8	31,2

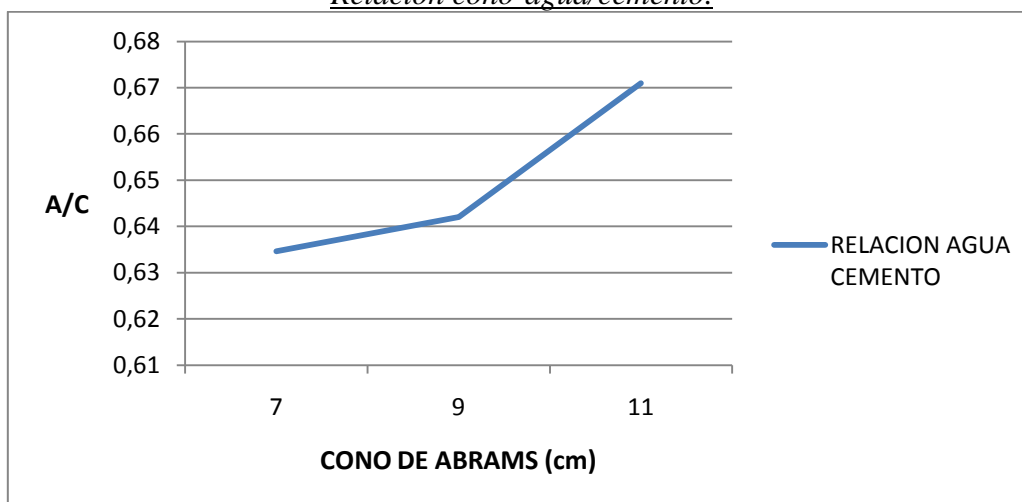
A continuación se muestra una gráfica (figura 5.18), que ofrece una comparativa entre la resistencia a 7 y 28 días, con relación al cono obtenido.

**Figura 5.18.**  
**Relación cono-resistencia.**



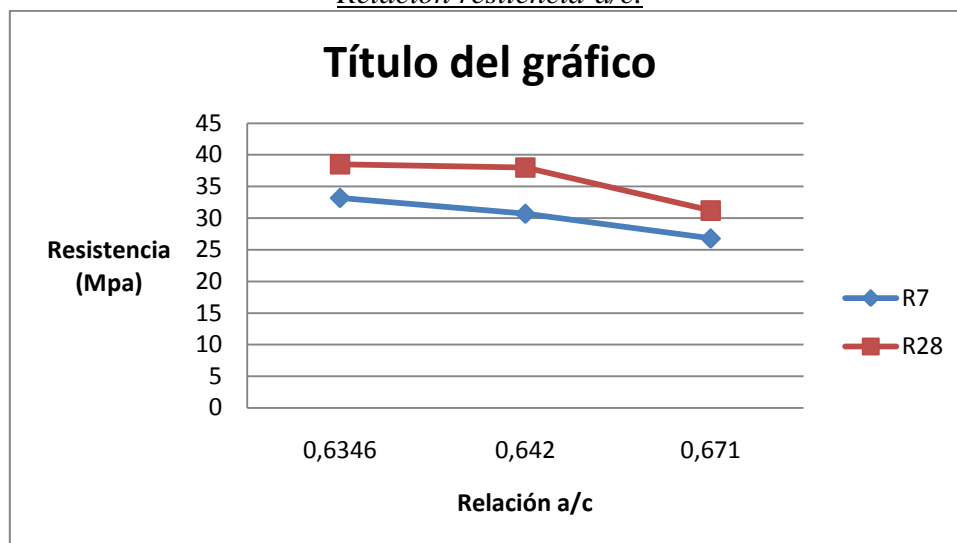
Se observa en éste caso una buena relación entre el cono obtenido y la relación agua/cemento, como se muestra en la siguiente gráfica (figura 5.19).

**Figura 5.19.**  
**Relación cono-agua/cemento.**



Como podemos comprobar en la siguiente figura (figura 5.20) al aumentar la relación a/c disminuye la consistencia y la resistencia.

**Figura 5.20.**  
**Relación resistencia-a/c.**



Aunque la última masada nos da una consistencia blanda-fluida, y se busca una blanda, estos datos son significativos y aceptables, ya que como se puede deducir de estos dos gráficos, la resistencia del ensayo a compresión depende directamente de la relación agua/cemento.

## 5.5.2 ADITIVOS MARCA “B”.

### Patrón:

A continuación se indica en una tabla (tabla 5.11) las resistencias de la dosificación patrón proporcionado por la marca comercial que nos ofrece MLN para trabajar sobre él:

**Tabla 5.11 Resistencias (MPa) patrón.**

R (7 días)	R (28 días)
37,45	43,39

### Dosificación 1:

No se varía ningún componente con respecto a la muestra patrón, manteniendo constante los aditivos ( $B_p$  y  $B_s$ ), la relación agua/cemento (0,55) y la cantidad de árido utilizado, para poder hacer una comparativa entre los resultados del laboratorio de la marca del aditivo y los resultados obtenidos por nosotros. Los resultados se exponen en la tabla siguiente, (tabla 5.12):

Tabla 5.12.

Consistencias y resistencias (MPa) obtenidas.

CONO (cm)	A/C	R (7 días)	R (28 días)
6	0,564	37,4	40,2
6,5	0,594	34,67	40.37
10	0,644	30,13	36,63

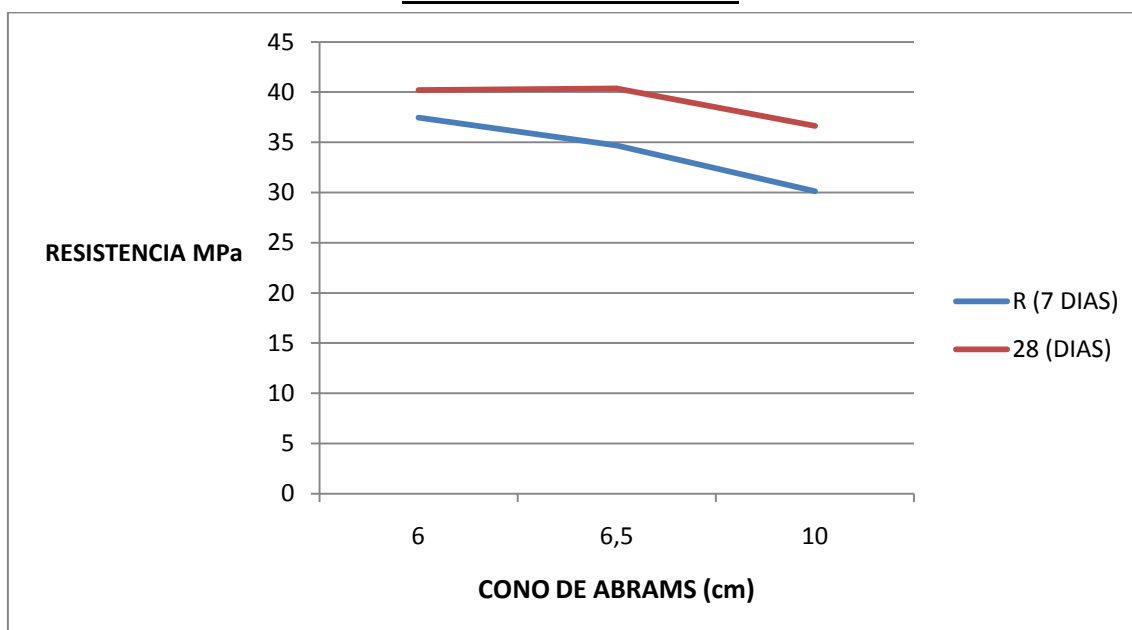
Se observa una gran homogeneidad en toda la familia y resultados muy parecidos a los proporcionados por la empresa de aditivos, en la última masada la relación de agua/cemento la hemos aumentado periódicamente durante los 40 minutos, de ahí la obtención de un cono mayor.

Estos resultados son positivos, ya que se observa en este aditivo, una homogeneidad y una trabajabilidad acorde con lo esperado. Esto significa que está dupla de aditivos (Bp y Bs) hace que el hormigón sea estable.

A continuación se muestra una gráfica (figuras 5.21), que ofrece una comparativa entre la resistencia a 7 y 28 días se refiere con relación al cono obtenido.

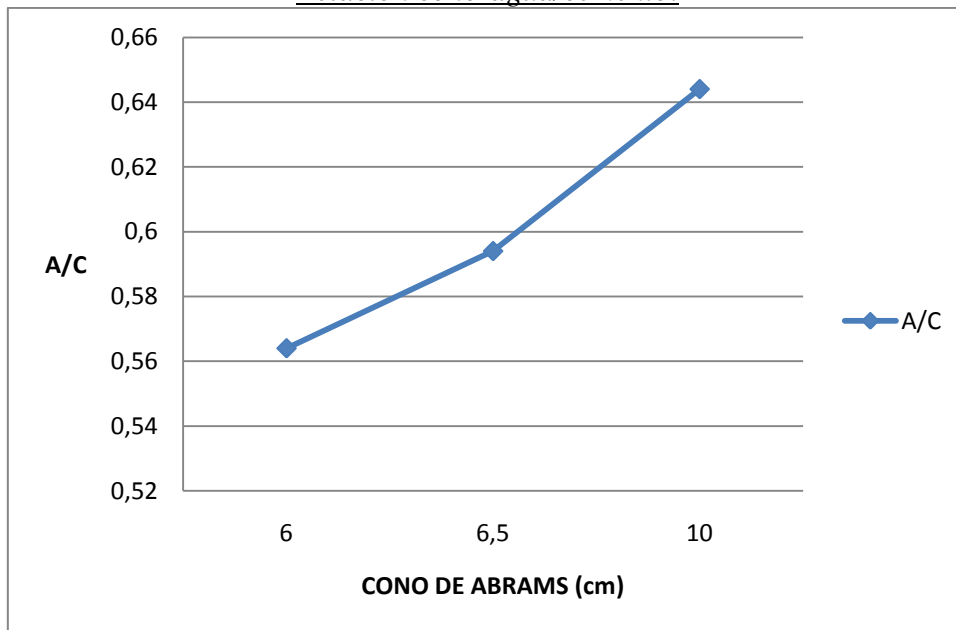
Figura 5.21.

Relación cono-resistencia.



Se observa en éste caso una buena relación entre el cono obtenido y la relación agua / cemento, como se muestra en la siguiente gráfica (figura 5.22.).

Figura 5.22.  
Relación cono-agua/cemento.



Como se puede deducir de estos dos gráficos, la resistencia del ensayo a compresión depende directamente de la relación agua/cemento.

#### Dosificación2:

Para esta dosificación hemos decidido mantener constante la cantidad de cemento de la dosificación anterior, y disminuir el porcentaje de aditivo superplastificante (Bs), manteniendo constante el polifuncional (Bp) así como las cantidades de árido y la relación agua/cemento inicial. Los resultados se exponen en la tabla siguiente, (tabla 5.13):

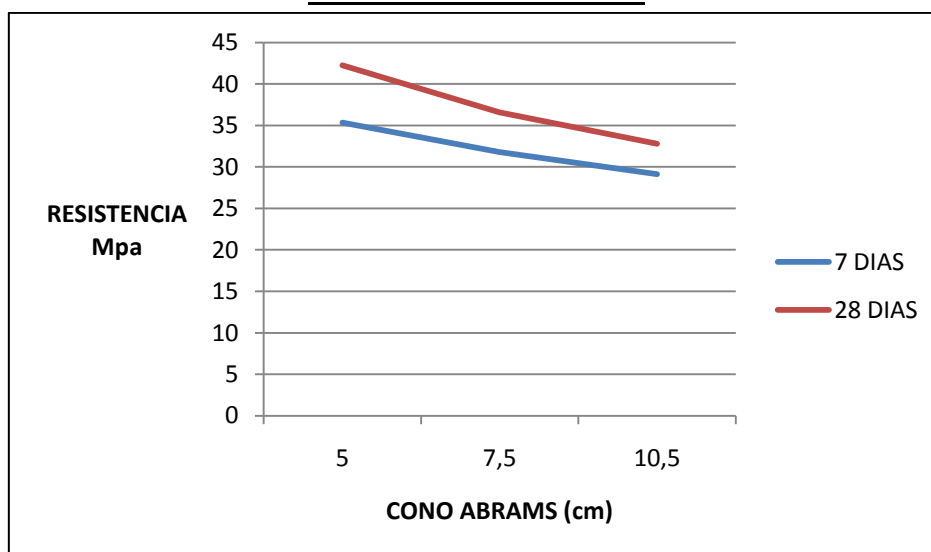
Tabla 5.13.  
Consistencias y resistencias (MPa) obtenidas.

CONO (cm)	A/C	R (7 días)	R (28 días)
5	0,625	35,35	42,245
7,5	0,64	31,77	36,56
10,5	0,637	29,11	32,78

A continuación se muestra una gráfica (figuras 5.23), que ofrece una comparativa entre la resistencia a 7 y 28 días se refiere con relación al cono obtenido.



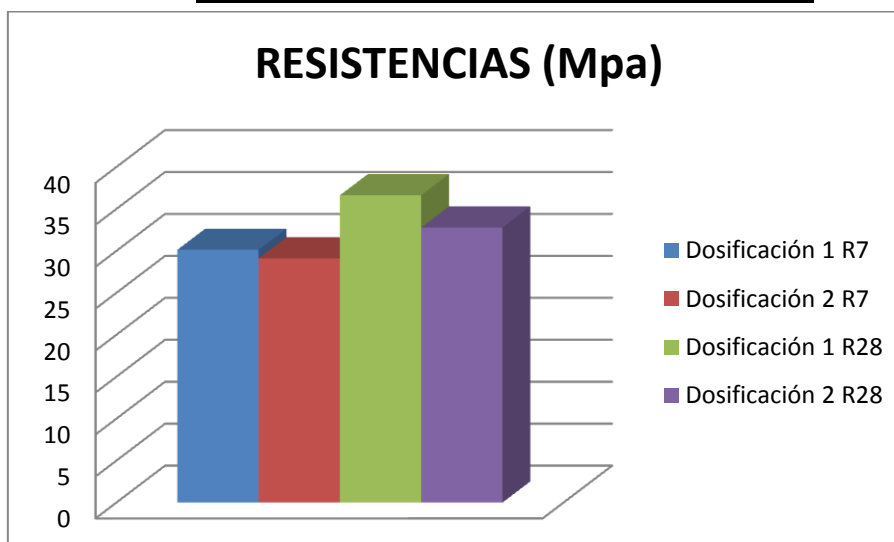
Figura 5.23.  
Relación cono-resistencia.



Se observa una disminución de la resistencia a medida que la consistencia disminuye.

Un dato a interesante del aditivo superplastificante (Bs) es el reflejado en la siguiente figura (figura 5.24), comparando con la anterior dosificación a igualdad de cono (10 cm y 10.5cm) al disminuir el aditivo la resistencia disminuye significativamente.

Figura 5.24  
Comparativa de resistencias a igualdad de cono



### 5.5.3 ADITIVO MARCA “C”.

#### Patrón:

A continuación se indica en una tabla (tabla 5.14) las resistencias, y consistencias finales del patrón de dosificación proporcionado por la marca comercial que nos ofrece MLN para trabajar sobre él:

Tabla 5.14 Resistencias (MPa) patrón.

R (7 días)	R (28 días)
33,64	43,39

Se observan resistencias muy elevadas, el doble de lo exigido, por lo cual, en las siguientes dosificaciones podemos alterar las diferentes variables para reducir costes, a costa de disminuir la resistencia, y manteniendo un cono blando.

#### Dosificación 1:

Se varía únicamente la cantidad de cemento, se disminuye, manteniendo constante la relación agua/cemento y cantidad de árido utilizado. Los resultados se exponen en la tabla siguiente, (tabla 5.15):

Tabla 5.15.

Consistencias y resistencias (MPa) obtenidas.

CONO (cm)	R (7 días)	R (28 días)	A/C
8	23,915	26,8	0,71
9	23,25	26,2	0,73
11	20,3	22,5	0,69

Los resultados obtenidos son incoherentes, ya que una mayor relación agua/cemento no implica una mayor consistencia, ni una mayor resistencia.

Las resistencias incluso a 28 días son en algún caso menores de 25 Mpa y teniendo en cuenta que la resistencia en laboratorio es mayor que en obra, posiblemente en obra estarían todas por debajo del límite propuesto.

#### Dosificación 2:

Para esta dosificación hemos decidido mantener constante la cantidad de cemento de la dosificación anterior, y disminuir el porcentaje de aditivo superplastificante (Cs), manteniendo constante el polifuncional (Cp) así como las cantidades de árido y la relación agua/cemento. Los resultados se exponen en la tabla siguiente, (tabla 5.16):

Tabla 5.16.

Consistencias y resistencias (MPa) obtenidas.

CONO (cm)	A/C	R (7 días)	R (28 días)
8	0,644	22,7	23,8
9	0,651	21,3	24,7
11	0,679	19,8	21,5

En este caso la relación agua cemento sí que sale lógica, al aumentar la relación a/c el cono es más alto y las resistencias obtenidas son menores, estas resistencias no cumplen con los requisitos requeridos.

No se han hecho más dosificaciones, debido a que nos dimos cuenta que el aditivo nos lo habían enviado caducado. Por ello los datos obtenidos no son coherentes y las resistencias obtenidas son más bajas de lo normal, debido a oclusiones de aire que hacen que se produzca antes la rotura.



# **CAPITULO 6**

# **CONCLUSIONES.**



## 6.1. Introducción.

En el presente capítulo se explican las conclusiones a las que se ha llegado, después de la realización y ruptura de todas las probetas. Se recuerda que el objetivo principal es conseguir una dosificación óptima para obtener un hormigón a partir de cemento AL con una dupla de aditivos, un superplastificante y un polifuncional, que resista más de 25MPa a compresión y con un cono de Abrams de 6-9 cm ( $\pm 1$ ). Otro objetivo importante, a parte del aspecto económico, es conseguir una estabilidad en el proceso, pues no es bueno que cambie mucho de cono durante el amasado, por lo tanto se busca un hormigón trabajable.

Por último recordar que este proyecto está realizado en un espacio y en unas condiciones ideales para la realización del hormigón, en la realidad hay infinidad de factores (temperatura, humedad, acontecimientos climatológicos...) que influyen y modifican las características del hormigón. Según las resistencias a compresión obtenidas, la reacción química se ha estado llevando a cabo de forma correcta ya que los valores corresponden con el tipo de hormigón utilizado.

## 6.2 Comportamiento de las parejas de aditivos.

### **MARCA ADITIVO A**

Con este aditivo se ha trabajado de una manera más extensa, se han hecho más dosificaciones y se han podido extraer muchas conclusiones, al tener más datos que del resto de aditivos.

No nos muestra una trabajabilidad muy aceptable durante los primeros minutos de amasado, es decir, que le cuesta reaccionar, necesitando ser hidratado para aumentar la velocidad de hidratación de los constituyentes del cemento. Una vez que ha reaccionado, sigue siendo imprescindible hidratarlo periódicamente pues se ha comprobado que es capaz de mantener una cierta regularidad en el cono si se sigue este método.

Esto se ha visto muy claro en la diferencia extrema que hay entre la dosificación 1 y 3, simplemente por el hecho de no mantener correctamente la hidratación periódica del hormigón.

Así mismo, si al principio se añade una gran cantidad extra de agua o se le añade toda de una vez, el hormigón no absorbe el agua y la repele, pues es demasiada, sin embargo hidratándolo poco a poco se consigue una buena trabajabilidad.

En nuestro caso el cemento AL es un cemento menos fuerte y menos activo que el SR, al ser las partículas de mayor tamaño se aumenta el roce interno, de manera que las uniones formadas entre el cemento, agua y áridos son sensiblemente más débiles,

de ahí que se consigan unas resistencias sensiblemente menores y con mayor trabajabilidad y homogeneidad. Estas propiedades se han logrado mediante la variación de las diferentes dosificaciones, llegando a unos 31MPa.

Principalmente, con este aditivo se han logrado conseguir los propósitos iniciales, obteniendo una buena trabajabilidad y homogeneidad, un cono entre los valores permitidos, junto con una la resistencia dentro de los parámetros establecidos.

Una cosa destacable es la coherencia entre los conos obtenidos y la relación agua/cemento, es algo muy importante y a tener muy en cuenta, pues es un requisito exigido para el hormigón que se intenta fabricar, que el cono sea previsible, es decir poder prever una consistencia blanda y como consecuencia de ello una buena trabajabilidad.

Todas estas conclusiones hacen que el cemento AL con éste aditivo sean unos buenos componentes del hormigón para las cualidades que se exigían y que las dosificaciones dadas por las empresas no están ajustadas a las necesidades que se exigían.

### **MARCA ADITIVO B**

Este aditivo es una buena alternativa al anterior, debido a que reacciona antes con el cemento y el árido, pero al igual que el aditivo A, sigue siendo necesario hidratarlo durante el proceso de amasado para que se mantenga trabajable.

El aditivo superplastificante (Bs) es menos denso, que el superplastificante (As) del apartado anterior, por lo que se necesitará una mayor cantidad para lograr un efecto parecido. Eso puede ser un problema en el aspecto económico, pues sería necesario más cantidad de aditivo de éste tipo.

También cabe destacar la relación entre los conos obtenidos y el agua/cemento mencionado en el anterior aditivo.

Se puede llegar a la conclusión de que este aditivo es una opción igual de válida que la opción A y al igual que anteriormente se puede ver que las dosificaciones están más ajustadas que en patrón, obteniendo un cono más blando con la resistencia aceptable.

### **MARCA ADITIVO C**

Con este aditivo no se puede llegar a ninguna conclusión debido al estado en el que se encontraba, las resistencias obtenidas no cumplen con los requisitos exigidos, debido a que el aditivo con el resto de componentes del hormigón reaccionaba de



manera nociva ocluyendo aire y haciendo que éste rompiera antes de que llegar a la presión requerida.



# ***ANEXOS*** ***Y*** ***BIBLIOGRAFÍA.***



## **Referencias.**



## Bibliografía y fuentes.

- Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Morán Cabré (2000), "Hormigón armado". 14ª edición. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.
- Instrucción del hormigón estructural EHE 08
- A. Neville (1999), "Properties of concrete". "Fundamentos del hormigón simple". 4ª edición. Pitman Publishing Limited. London.
- Calleja, J. "Tendencias futuras en la investigación de la estructura, propiedades y comportamiento de las pastas de cementos con adiciones" Cemento-Hormigón. Nº646. Septiembre 1987.
- M. R. Rixom. "Aditivos para los hormigones, composición, propiedades y empleo". Editores técnicos asociados. Barcelona 1984.
- Ing. Silene Minaya González. M. I. Abel Ordóñez Huaman. "Manual de laboratorios; Ensayos para pavimentos" VOL. 1. Universidad Nacional de Lima. Diciembre 2001.
- Luz Granizo, jefa I+D Aditivos y Morteros, S:A. "Tecnología de aditivos para hormigón". Revista Hormigón Nº65 Febrero 2004.
- "¿Qué, por qué y cómo? Aditivos Químicos para el concreto. El concreto en la práctica". National Ready Mixed Concrete Association. Nº158. U. S. A.
- "Manual de Instrucciones. Banco de Ensayo de Hormigón BEH-3/NN".

## Páginas web consultadas.

- [www.Anfah.org](http://www.Anfah.org). Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos de Hormigón y Mortero.
- [www.allstudies.com/](http://www.allstudies.com/) Aditivos del hormigón
- [www.concreteonline.com](http://www.concreteonline.com). Artículo técnico sobre aditivos. Sr. Pere Borralleras,
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [www.aenor.es](http://www.aenor.es)





## **Normas**



- Instrucción del Hormigón Estructural (EHE 08).
- UNE-EN 934-2, "Aditivos para hormigones, morteros y pastas".
- ASTM C494/C260/1017: "Chemical Admixtures for Concrete".
- AFNOR P 18-123: "Btons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Btons".
- UNE 83301:1984: Fabricación y conservación de probetas.
- UNE 83302:1984: Ensayos de hormigón. Extracción y conservación de probetas testigo.
- UNE 83303:1984: Refrentado de probetas con mortero de azufre.
- UNE 83304:1984: Rotura por compresión.
- UNE 83313: 1990: Medida de la consistencia del hormigón fresco por el método del cono de Abrams.
- UNE-EN 12350-1:2006: Ensayos de hormigón fresco. Parte 1: Toma de muestras.
- UNE-EN 12350-2:2006: Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento.
- UNE-EN 12390-1:2001: Ensayos de hormigón endurecido. Parte 1: Forma, medidas y otras características de las probetas y moldes.
- UNE-EN 12390-2:2001: Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia.
- UNE-EN 12390-3:2003: Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.
- UNE-EN 197-1:2000: Cemento. Parte 1: composición, especificaciones y criterios de conformidad de los Cementos comunes.
- UNE-EN 480-1:1998: Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 1: Hormigón y mortero de referencia para ensayos.

- UNE-EN 933-1:1998: Determinación del análisis granulométrico de los áridos.
- UNE-EN 934-2:2002 "Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado".



